



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΗΠΕΙΡΟΥ

Πτυχιακή Εργασία

# ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (Παράδειγμα δικτύου μικρής εμβέλειας)



Γεώργιος Γούσης    Α.Μ. 9361

Πτυχιακή εργασία ως μέρος των απαιτήσεων του τμήματος Πληροφορικής και  
Τηλεπικοινωνιών.

Όνοματεπώνυμο Φοιτητή: ΓΟΥΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΡΙΖΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Τίτλος πτυχιακής εργασίας: ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ**

**ΓΟΥΣΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΕΞΑΜΗΝΟ: 14ο

ΑΜ: 9361

E-mail: [georgegou52@gmail.com](mailto:georgegou52@gmail.com)

# **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Ρίζο Γεώργιο για την εποικοδομητική συνεργασία και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.*

## Δήλωση Πνευματικής Ιδιοκτησίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αποκλειστικά δικής μου προσπάθειας. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία και γίνεται ρητή αναφορά σε αυτές μέσα στο κείμενο όπου έχουν χρησιμοποιηθεί.

ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγγραφής της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η γνωριμία μας με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Με τον όρο ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network -WSN ) εννοούμε ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Αρχικά, λοιπόν, μελετάμε τα κύρια χαρακτηριστικά των εν λόγω δικτύων, καθώς και τις κατηγορίες στις οποίες αυτά χωρίζονται. Στη συνέχεια, γίνεται η σύγκριση τους με τα ad hoc δίκτυα. Το πρώτο κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μια σύντομη αναφορά στις εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων, οι οποίες θα αναλυθούν εις βάθος στο κεφάλαιο τρία.

Στο επόμενο κεφάλαιο, η προσοχή μας εστιάζεται στα πρότυπα των δικτύων αισθητήρων. Τα σημαντικότερα πρότυπα είναι τα: EnOcean, ZigBee, Bluetooth LE, 6LoWPAN, ISA100.11a, και RuBee. Για τα προαναφερθέντα, μελετάμε την ορολογία τους, την ιστορική τους εξέλιξη, καθώς και τις εφαρμογές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε διάφορους τομείς. Τα WsN κατέχουν εξέχουσα θέση σε περιβαλλοντικές, οικιστικές, υποβρύχιες, στρατιωτικές αλλά κυρίως σε εφαρμογές υγείας. Στον τομέα της υγείας η επιστήμη έχει κάνει αλματώδη βήματα, ώστε να εξυπηρετούνται στο βέλτιστο βαθμό οι χρόνια πάσχοντες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο ασχοληθήκαμε με την αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Μελετήσαμε το φυσικό επίπεδο, το επίπεδο ζεύξης δεδομένων το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο μεταφοράς, το επίπεδο εφαρμογής, καθώς και τα πρωτόκολλα δρομολόγησης τους.

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή ενός δικτύου αισθητήρων σε ένα θερμοκήπιο, ώστε να κατανοήσουμε την χρησιμότητα των ασύρματων αισθητήρων στη γεωργία.

# ABSTRACT

The purpose of writing this thesis is our acquaintance with wireless sensor networks . By wireless sensor networks (WSNs / Wireless Sensor Network-WSN) we mean a set of scattered autonomous sensors that have the primary purpose of monitoring physical or environmental conditions . Initially , therefore , we study the main characteristics of these networks and the categories in which they are divided . Then , the comparison with the ad hoc networks . The first chapter ends with a brief reference to applications of sensor networks , which will be analyzed in depth in chapter three .

In the next chapter , our attention is focused on patterns of sensor networks . The most important standards are : EnOcean, ZigBee, Bluetooth LE, 6LoWPAN, ISA100.11a, and RuBee. For the above study the terminology , the historical evolution and their applications.

The third chapter analyzes the applications of wireless sensor networks in different areas . The WsN prominently in environmental , construction , underwater , military but especially in healthcare applications . In the field of health science has made great strides to accommodate optimally chronically ill .

In the fourth chapter dealt with architecture of wireless sensor networks . We studied the physical layer, data link layer the network layer , the transport layer , the application layer and the routing protocols .

The final chapter is a brief description of a sensor network in a greenhouse , to understand the utility of wireless sensors in agriculture.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|   |    |
|---|----|
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....                                     | 10 |
| <b>ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ-WSN</b> .....                 | 10 |
| 1.1 Εισαγωγή.....   | 10 |
| 1.2 Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων.....           | 11 |
| 1.3 Οι διαφορές των δικτύων αισθητήρων .....                | 13 |
| 1.4 Οι κατηγορίες των δικτύων αισθητήρων .....              | 15 |
| 1.4.1 Υπέργειοι αισθητήρες.....                             | 15 |
| 1.4.2 Υπόγειοι αισθητήρες.....                              | 16 |
| 1.4.3 Υποθαλάσσιοι αισθητήρες.....                          | 17 |
| 1.4.4 Multimedia επιτήρησης δίκτυα αισθητήρων.....          | 18 |
| 1.4.5 Κινούμενοι Αισθητήρες.....                            | 19 |
| 1.5 Η σύγκριση δικτύων αισθητήρων με τα ad-hoc δίκτυα.....  | 19 |
| 1.6 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....             | 20 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....                                     | 21 |
| <b>ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΩΝ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....    | 21 |
| 2.1 Το πρότυπο EnOcean .....                                | 21 |
| 2.1.1 Η ιστορία του EnOcean.....                            | 22 |
| 2.2 Το πρότυπο ZigBee.....                                  | 22 |
| 2.2.1 Η ιστορία του ZigBee.....                             | 23 |
| 2.2.2 Οι χρήσεις του ZigBee.....                            | 24 |
| 2.3 Το πρότυπο RuBee.....                                   | 25 |
| 2.3.1 Τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του RuBee.....  | 25 |
| 2.4 Το πρότυπο 6LoWPAN.....                                 | 26 |
| 2.4.1 Οι λειτουργίες του 6LoWPAN.....                       | 26 |
| 2.5 Το πρότυπο ISA100.11a.....                              | 27 |
| 2.5.1 Η ιστορία του ISA100.11a.....                         | 27 |
| 2.6 Το πρότυπο Bluetooth LE, ή BLE.....                     | 28 |
| 2.6.1 Η ιστορία του Bluetooth LE, ή BLE.....                | 29 |
| 2.6.2 Οι εφαρμογές του Bluetooth LE, ή BLE.....             | 29 |
| 2.6.3 Οι τεχνικές λεπτομέρειες του Bluetooth LE, ή BLE..... | 29 |
| 2.7 Το πρότυπο DASH7.....                                   | 31 |
| 2.7.1 Η ιστορία του DASH7.....                              | 31 |
| 2.7.2 Οι εφαρμογές του DASH7.....                           | 32 |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....                                     | 34 |
| <b>ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b> .....            | 34 |
| 3.1 Περιβαλλοντικές εφαρμογές.....                          | 35 |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1.1 Παρακολούθηση σύνθετων βιολογικών οργανισμών του περιβάλλοντος..... | 35        |
| 3.1.2 Πρόληψη φυσικών καταστροφών.....                                    | 36        |
| 3.1.2.1 Ανίχνευση πλημμυρών.....  | 36        |
| 3.1.2.2 Περιβαλλοντική / γεωσκόπηση.....                                  | 37        |
| 3.1.2.3 Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών.....                                  | 37        |
| 3.1.2.4 Ανίχνευση κατολισθήσεων.....                                      | 38        |
| 3.1.3 Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα.....                           | 38        |
| 3.1.4 Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα.....                            | 39        |
| 3.1.5 Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων.....                         | 39        |
| 3.1.6 Παρακολούθηση νερού/αποβλήτων υδάτων.....                           | 39        |
| 3.1.7 Η γεωργία.....  | 40        |
| 3.2 Βιομηχανικές Εφαρμογές.....   | 41        |
| 3.2.1 Βιομηχανική λογική και έλεγχος των αιτήσεων.....                    | 41        |
| 3.3 Παθητικός εντοπισμός και παρακολούθηση.....                           | 41        |
| 3.4 Οικιακές Εφαρμογές.....   | 42        |
| 3.4.1 Παρακολούθηση έξυπνου σπιτιού.....                                  | 43        |
| 3.5 Υποβρύχιες Εφαρμογές.....   | 43        |
| 3.6 Στην υγεία.....   | 44        |
| 3.6.1 Αισθητήρες σε χρόνια πάσχοντες.....                                 | 44        |
| 3.6.2 Πλεονεκτήματα αισθητήρων.....                                       | 45        |
| 3.6.3 Η χρησιμότητα των ασύρματων αισθητήρων.....                         | 45        |
| 3.6.4 Αισθητήρες στην καταπολέμηση όγκων.....                             | 45        |
| 3.6.5 Κατηγορίες αισθητήρων στην ιατρική.....                             | 46        |
| 3.6.6 M-health και αισθητήρες.....  | 47        |
| 3.7 Στρατιωτικές Εφαρμογές.....   | 47        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ.....</b>                    | <b>49</b> |
| 4.1 Εισαγωγή.....   | 49        |
| 4.2 Φυσικό επίπεδο.....   | 50        |
| 4.3 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων.....   | 50        |
| 4.3.1 SMACS και ο αλγόριθμος EAR.....                                     | 50        |
| 4.3.2 Μέσο πρόσβασης βασισμένο στο CSMA.....                              | 51        |
| 4.3.3 Υβριδικός τρόπος πρόσβασης βασισμένος στο TDMA/FDMA.....            | 52        |
| 4.4 Καταστάσεις λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας.....                  | 52        |
| 4.5 Έλεγχος Λαθών.....  | 52        |

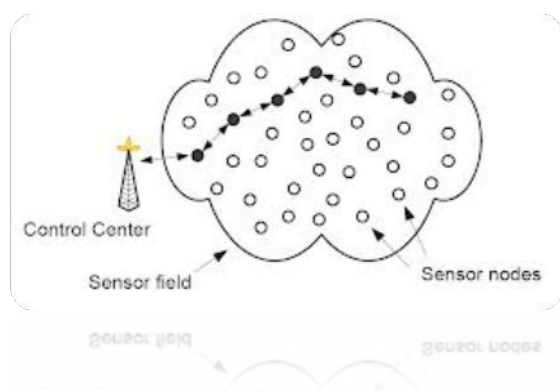


|   |           |
|---|-----------|
| 4.5.1 ARQ.....  | 53        |
| 4.5.2 FEC.....  | 53        |
| 4.6 Επίπεδο Δικτύου.....  | 53        |
| 4.6.1 Δεδομένο-κεντρικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.....  | 55        |
| 4.6.2 Ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης.....  | 57        |
| 4.6.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στην θέση.....  | 60        |
| 4.6.4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στην ροή του δικτύου και στην ποιότητα της υπηρεσίας..... | 63        |
| 4.7 Επίπεδο Μεταφοράς.....  | 66        |
| 4.8 Επίπεδο Εφαρμογής.....  | 66        |
| 4.8.1 Sensor Management Protocol (SMP).....   | 67        |
| 4.8.2 Task assignment and data advertisement protocol.....  | 68        |
| 4.8.3 Sensor query and data dissemination protocol.....   | 68        |
| <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>  | <b>69</b> |
| <b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ</b>                            |           |
| 5.1 Εισαγωγή.....   | 69        |
| 5.2 Παράδειγμα χρήσης αισθητήρων σε θερμοκήπιο.....   | 71        |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>  | <b>73</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>  | <b>74</b> |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων – WsN

### 1.1 Εισαγωγή



Εικόνα 1: Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Με τον όρο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / **Wireless Sensor Network -WSN** ) εννοούμε ένα σύνολο από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών. Το δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από εκατοντάδες ή χιλιάδες κόμβους, καθένας από τους οποίους συνδέεται με έναν ή και περισσότερους αισθητήρες. Κάθε τέτοιος κόμβος του δικτύου αισθητήρων αποτελείται από:

- ένα ραδιοπομποδέκτη με μια εσωτερική κεραία
- ή μια σύνδεση με μια εξωτερική κεραία
- έναν μικροελεγκτή
- ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για την διασύνδεση με τους αισθητήρες
- μια πηγή ενέργειας, συνήθως μια μπαταρία ή μια ενσωματωμένη μορφή συγκομιδής ενέργειας.

Το μέγεθος και το κόστος του κάθε κόμβου ποικίλει, συνεπώς υπάρχουν περιορισμοί σε πόρους, δηλαδή σε ενέργεια, μνήμη, υπολογιστική ταχύτητα και στο εύρος ζώνης των επικοινωνιών. Με τη συνεργασία των κόμβων μπορεί να επιτευχθεί η μεταφορά δεδομένων μέσω του δικτύου σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Τα πιο μοντέρνα δίκτυα είναι ικανά και να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες πράγμα που τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. Αρχικά τα δίκτυα αισθητήρων δημιουργήθηκαν ώστε να εξυπηρετήσουν στρατιωτικούς σκοπούς, όπως η παρακολούθηση των πεδίων μάχης. Σήμερα τέτοια δίκτυα χρησιμοποιούνται σε πολλές καταναλωτικές και βιομηχανικές εφαρμογές, η παρακολούθηση και ο έλεγχος της βιομηχανικής παραγωγής, την παρακολούθηση των μηχανημάτων υγείας και πολλά άλλα. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι μια συνεχώς αναπτυσσόμενη και εξελισσόμενη τεχνολογία, η οποία έχει αλλάξει τον τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται το περιβάλλον. Δίκτυα αισθητήρων έχουν χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες

εφαρμογές ανάμεσα στις οποίες είναι και η ιατρική. Αντίθετα με τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα, τα δίκτυα αισθητήρων έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν χωρίς επιτήρηση για μεγάλα χρονικά διαστήματα στα οποία είναι συνήθως δύσκολο, έως αδύνατο να αντικατασταθεί ή να επαναφορτιστεί η πηγή ενέργειάς τους, (δηλ. μπαταρία). Έτσι λοιπόν η ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε αυτά τα δίκτυα αποτελεί ζήτημα μέγιστης σημασίας, αφήνοντας τις άλλες μετρικές επίδοσης να παίζουν δευτερεύοντα ρόλο. Σε αυτή τη διπλωματική εργασία προτείνεται και αναλύεται μια πιθανοτική και πλήρως κατανεμημένη μέθοδος συλλογής και συνάθροισης δεδομένων που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με ένα ενεργειακά αποδοτικό πρωτόκολλο πρόσβασης μέσου. Η μεθοδολογία πέρα από τα ενεργειακά οφέλη που παρουσιάζει λόγω της συλλογής και συνάθροισης, εφαρμόζει περιοδικές καταστάσεις ύπνου στους αισθητήρες κόμβους, για να μειώσει περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας στο δίκτυο. Η μέθοδος αυτή επιδέχεται χρονικούς περιορισμούς καθυστέρησης παραλαβής πακέτων, ώστε να εξασφαλιστεί ο επιθυμητός βαθμός ποιότητας υπηρεσίας, και είναι παραμετροποίηση σε ένα μεγάλο βαθμό, για να εξυπηρετεί με τον καλύτερο κάθε φορά τρόπο τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Από προσομοιώσεις που έγιναν για να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα της μεθόδου φάνηκε πως αυτή επιτυγχάνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας χωρίς όμως να χάνει το βαθμό αξιοπιστίας που έχουν άλλα, μη ενεργειακά αποδοτικά πρωτόκολλα.[1] [2].

## 1.2 Χαρακτηριστικά



**Εικόνα 2: Δίκτυο αισθητήρων**

Ένα δίκτυο αισθητήρων χαρακτηρίζεται από τα παρακάτω :

- το χρόνο ζωής
- την επεκτασιμότητα
- την κάλυψη που παρέχει
- το κόστος παραγωγής
- την ευκολία ανάπτυξης
- την ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων
- το χρόνο απόκρισης
- τον τρόπο συγχρονισμού
- και την ασφάλεια που μπορεί να παρέχει.

Ακολουθεί μια εκτενέστερη αναφορά σε όλα τα παραπάνω:

**Ο αναμενόμενος χρόνος ζωής** του δικτύου είναι από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά και κυριότερος περιοριστικός παράγοντας στην διάρκεια ζωής του είναι η χωρητικότητα του

συσσωρευτική ενέργειας του συστήματος. Αξίζει να αναφέρουμε ότι σε πολλές εφαρμογές βασικό ρόλο παίζει ο ελάχιστος εκτιμώμενος χρόνος ζωής.

Κυρίαρχο ρόλο κατέχουν **η κάλυψη και η επεκτασιμότητα**. Αυτό συμβαίνει διότι είναι σημαντικό για τον τελικό χρήστη να μπορεί να αναπτύξει δίκτυα τα οποία καλύπτουν μια ευρεία περιοχή παρατήρησης. [1]

Όσον αφορά την κάλυψη του δικτύου πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν ταυτίζεται απαραίτητα με την ακτίνα κάλυψης των επικοινωνιακών συνδέσεων που χρησιμοποιεί ο κάθε κόμβος. Με την χρήση multi-hop τεχνικών είναι εφικτή **η επέκταση της κάλυψης** αρκετά πιο μακριά από την ακτίνα που επιτρέπει ο χρησιμοποιούμενος πομπός. Αξίζει να αναφέρουμε ότι αν και η επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου τείνει στο άπειρο μετά από ένα συγκεκριμένο αριθμό hop και μια συγκεκριμένη ακτίνα εκπομπής το συνολικό ισοζύγιο κατανάλωσης ισχύος του δικτύου αυξάνεται, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο χρόνος αντίδρασής του.

**Η επεκτασιμότητα** αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων. Ο αριθμός των κόμβων που συμμετέχουν είναι ανάλογος της εφαρμογής. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να έχουμε μερικούς ή και εκατοντάδες αισθητήρες. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι απαιτείται η ύπαρξη κατάλληλων μηχανισμών που να επιτρέπουν την προσθήκη νέων κόμβων χωρίς να διαταράσσεται η λειτουργία του δικτύου. Λόγω του ότι τα δίκτυα αισθητήρων δεν έχουν συγκεκριμένο αριθμό κόμβων, το κόστος του κάθε κόμβου παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του συνολικού κόστους του δικτύου. Κατά συνέπεια, προσπαθούμε ώστε το κόστος του κάθε κόμβου να είναι χαμηλό, ώστε το συνολικό κόστος του δικτύου να είναι χαμηλότερο από το κόστος ενός αντιστοίχων δυνατοτήτων συμβατικού δικτύου.

**Η ευκολία ανάπτυξης**. Απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη ενός δικτύου αισθητήρων είναι, να γίνεται και από μη εξειδικευμένο προσωπικό. Το σύστημα θα είναι ικανό να ρυθμίζεται αυτόματα ανεξάρτητα την κατάσταση που επικρατεί στο περιβάλλον στο οποίο τοποθετείται.

**Η αντοχή στα σφάλματα** είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό για ένα σύστημα αισθητήρων. Κάποιοι κόμβοι μπορεί να πάψουν να λειτουργούν λόγω βλάβης, λόγω αστοχίας κάποιου υποσυστήματός τους ή λόγω παρεμβολών από κάποιο εξωτερικό αίτιο. Στην περίπτωση αυτή δεν θα πρέπει να επηρεάζεται η συνολική λειτουργία του δικτύου. Η αντοχή σε σφάλματα είναι η δυνατότητα του δικτύου αισθητήρων να διατηρεί τη λειτουργικότητά του χωρίς διακοπές που να οφείλονται στις αποτυχίες των κόμβων του. Η αξιοπιστία ή η αντοχή σε σφάλματα ενός αισθητήριου κόμβου συμβολίζεται με  $R_k(t)$  και μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας τη διασπορά Poisson προκειμένου να δείξει την πιθανότητα να μην έχουμε κάποια αποτυχία σε ένα χρονικό διάστημα.

Οι αλγόριθμοι και τα πρωτόκολλα σχεδιάζονται ώστε να έχουν αντοχή σε λάθη που απαιτούνται από τα δίκτυα αισθητήρων. Σε περίπτωση που το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να αναπτυχθεί ένα δίκτυο αισθητήρων δημιουργεί μικρές παρεμβολές τότε τα πρωτόκολλα διακρίνονται από ελαστικότητα. Λόγου χάρη, σε περίπτωση που ένα δίκτυο αισθητήρων εγκαθίστανται σε μια οικία με κύριο σκοπό την παρακολούθηση της υγρασίας και θερμοκρασίας, η αντοχή σε σφάλματα μπορεί να είναι χαμηλή μιας και οι συγκεκριμένοι κόμβοι δεν καταστρέφονται και δεν παρεμβάλλονται εύκολα από το περιβάλλον. Αντιθέτως σε ένα πεδίο μάχης το δίκτυο αισθητήρων που θα εγκατασταθεί πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή σε σφάλματα διότι είναι πολύ εύκολο να καταστραφούν αρκετοί κόμβοι του από εχθρικές επιχειρήσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η αντοχή σε σφάλματα είναι ανάλογη με την εφαρμογή του δικτύου.

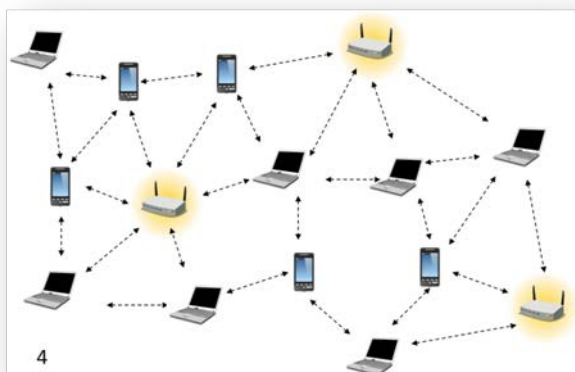
Αξίζει να προσθέσουμε ότι τόσο στο σχεδιασμό του δικτύου αισθητήρων, όσο και των κόμβων, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη μας την εφαρμογή στην οποία θα χρησιμοποιηθούν. Σε ορισμένες κατηγορίες εφαρμογών, όπως στις εφαρμογές επιτήρησης και εντοπισμού, δεδομένα από πολλούς κόμβους πρέπει να συσχετισθούν χρονικά ώστε γίνει εφικτός ο εντοπισμός βασικών παραμέτρων του φαινομένου που παρατηρείται. Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός του δικτύου απαιτείται η κατασκευή και η διατήρηση μιας καθολικής ώρα συστήματος, η οποία θα χρησιμοποιείται για την

χρονική ταξινόμηση των δεδομένων που καταγράφονται σε κάθε κόμβο του δικτύου. Ασφαλώς αξίζει να αναφέρουμε ότι απαιτείται η ύπαρξη ενός μηχανισμού ο οποίος θα διαχειρίζεται τις διαδικασίες διατήρησης και διασποράς, μεταξύ των κόμβων, των μηνυμάτων με πληροφορίες συγχρονισμού.

**Ο χρόνος αντίδρασης** είναι για ορισμένες εφαρμογές. Λόγου χάρη στα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης & συναγερμού, ο σημαντικότερος παράγοντας σχεδίασης και αξιολόγησης ενός δικτύου. Ωστόσο η ικανότητα του δικτύου να έχει μικρό χρόνο απόκρισης συγκρούεται με το χρόνο ζωής του συστήματος. Η αντίφαση αυτή αίρεται με την ενσωμάτωση στο δίκτυο κόμβων που βρίσκονται σε κατάσταση συνεχούς λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός χρόνος αντίδρασης, αλλά έχει συνέπειες στην ευκολία ανάπτυξης του δικτύου.

**Μηχανισμοί κρυπτογράφησης και αυθεντικοποίησης.** Οι μηχανισμοί αυτοί έχουν ως σκοπό να διατηρούν την πληροφορία που συλλέγουν κρυφή σε μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Μπορούμε να προσθέσουμε ότι η χρήση τέτοιων τεχνικών επιδρούν αρνητικά τόσο στην κατανάλωση ισχύος, όσο και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου ενώ η ενσωμάτωση στα μεταφερόμενα πακέτα επιπλέον bits, τα οποία περιέχουν τις πληροφορίες αυθεντικοποίησης, μειώνουν τον αριθμό των πραγματικών δειγμάτων που μπορούν να μεταφερθούν από ένα κόμβο. [1] [2].

### 1.3 Διαφορές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων με τα Ad-Hoc δίκτυα



Εικόνα 3: Ad hoc network

Ένα δίκτυο ad-hoc είναι στην ουσία ένα τοπικό δίκτυο (LAN). Στο Λατινικά, ad hoc σημαίνει "γι' αυτό," πιο συγκεκριμένα "για τον ειδικό αυτό σκοπό". Όλοι οι κόμβοι δεν στηρίζονται σε ένα σταθμό βάσης για να συντονίσουν τη ροή των μηνυμάτων σε κάθε κόμβο του δικτύου, αλλά σε επιμέρους κόμβους οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να διαβιβάζουν τα πακέτα προς τους υπόλοιπους κόμβους. Ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο αποτελεί έναν αποκεντρωμένο τύπο ασύρματου δικτύου το οποίο δε βασίζεται σε κάποια προϋπάρχουσα υποδομή. Αντίθετα, κάθε κόμβος λαμβάνει μέρος στη δρομολόγηση προωθώντας τα δεδομένα προς τους άλλους κόμβους, όπως αναφέραμε και παραπάνω κι έτσι ο καθορισμός του ποιοι κόμβοι προωθούν δεδομένα γίνεται δυναμικά με βάση τη συνδεσιμότητα του δικτύου. Πέρα από την κλασσική δρομολόγηση, τα ad hoc δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιήσουν την υπερχειλίση για να προωθήσουν τα δεδομένα. Τα πρώτα ασύρματα ad hoc δίκτυα ήταν τα PRNETs (δίκτυα "ραδιοφωνικών Advanced Research Projects Agency) και ακολούθησε το ALOHAnet project. [2] [3]

Ενώ τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες με τα ad-hoc δίκτυα παρόλ' αυτά έχουν κάποιες διαφορές. Οι κυριότερες διαφορές αναφέρονται παρακάτω:

**Το πλήθος κόμβων:** Ο αριθμός των κόμβων σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερος από ότι σε ένα ad-hoc δίκτυο.

**Η τοπολογία:** Τα δίκτυα αισθητήρων χαρακτηρίζονται από στατικότητα, κάτι που δεν παρατηρούμε στα ad hoc δίκτυα.

**Η Μεθοδολογία εκπομπής:** Στα ad-hoc δίκτυα η μεθοδολογία είναι point-to-point, ενώ στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι mesh networking, δηλαδή δίκτυα πλέγματος.

**Οι Δυνατότητες κόμβου:** Στα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι έχουν πολλούς περιορισμούς σε τομείς :

- της ενέργειας
- της υπολογιστικής ισχύος
- της μνήμης
- της κατασκευής τους.

**Ο Τρόπος χρησιμοποίησης:** Οι κόμβοι στα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων σε μια περιοχή παρατήρησης, ενώ στα ad-hoc δίκτυα εκτελούν διάφορες υπολογιστικές εργασίες.

**Η Απουσία μοναδικού χαρακτηριστικού:** Οι κόμβοι σε ένα δίκτυο αισθητήρων είναι πιθανό να μην έχουν κάποιο αναγνωριστικό (MAC/IP διεύθυνση), κάτι που ασφαλώς δεν ισχύει με τους κόμβους σε ένα ad-hoc δίκτυο.

**Η Κινητικότητα:** Στα ad-hoc δίκτυα οι κόμβοι μετακινούνται πολύ συχνά, ενώ οι κόμβοι ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων παραμένουν σταθεροί.

**Η Αναπλήρωση ενέργειας:** Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι δεν έχουν συνήθως τη δυνατότητα αναπλήρωσης της ενέργειας που καταναλώνουν σε αντίθεση με τους κόμβους στα ad-hoc δίκτυα.

**Η πυκνότητα ανάπτυξης:** Οι κόμβοι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αναπτύσσονται στην περιοχή παρατήρησης με μεγαλύτερη πυκνότητα. [2]

## 1.4 Κατηγορίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων διακρίνονται σε:

- Υπέργεια
- Υπόγεια
- Υποθαλάσσια
- Multimedia
- Κινούμενα

Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στην κάθε κατηγορία.

### 1.4.1 Υπέργειοι αισθητήρες



Εικόνα 4: Ευφρές πότισμα φυτών

Αξίζει να αναφέρουμε την ανάπτυξη μιας ξεχωριστής τεχνολογίας δικτύων αισθητήρων, σύμφωνα με την οποία επιτυγχάνεται η ρύθμιση και ο έλεγχος της κατανάλωσης νερού. Η τεχνολογία αυτή που διακρίνεται για το χαμηλό κόστος, αποτελεί έργο του Πολυτεχνείου της Κρήτης. Με την ανάπτυξη της προαναφερθείσας τεχνολογίας είναι εφικτό το αυτόματο πότισμα φυτών σε αγροτικές καλλιέργειες ή άλλες περιβαλλοντικές εφαρμογές. Αξίζει να αναφερθεί ότι με την τεχνική αυτή εξοικονομείται ενέργεια, μέσω της τεχνικής ανάκλασης σημάτων από τον πομπό (φυτό) στον δέκτη (υπολογιστή) διαμέσου των κόμβων (αισθητήρων) μετάδοσης των πληροφοριών για τις ποσότητες νερού που χρειάζονται για την άρδευση.

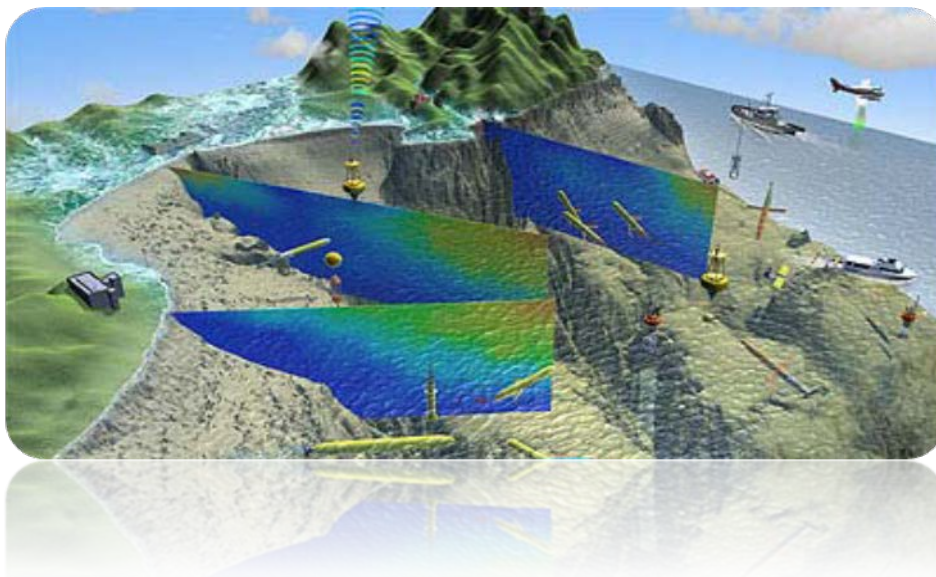
Οι αισθητήρες του παραπάνω δικτύου μπορεί να είναι καλωδιωμένοι με ένα κεντρικό ψηφιακό σύστημα καταγραφής ή να συνδέονται σε έναν πομποδέκτη ο οποίος είναι υπεύθυνος για την αποστολή της πληροφορίας, για την υγρασία ασύρματα σε έναν κεντρικό δέκτη (συνδεδεμένο σε υπολογιστή). Πολλοί τέτοιοι πομποδέκτες-κόμβοι αποτελούν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (wireless sensor network - WSN) το οποίο τοποθετείται σε ένα χωράφι ή ένα θερμοκήπιο.

Οι σημερινές εμπορικές τεχνολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων, παρόλο που δίνουν τη δυνατότητα για επισκόπηση περιβαλλοντικών συνθηκών (υγρασία, θερμοκρασία - μικροκλίμα φυτού) λόγω της πολυπλοκότητάς τους έχουν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις.

Στο παράδειγμα του παραπάνω δικτύου αισθητήρων έχει γίνει αλλαγή του μηχανισμού επικοινωνίας του κάθε κόμβου, όπου αντί για ενεργή μετάδοση ραδιοσημάτων, χρησιμοποιείται μια τεχνική ανάκλασης σημάτων η οποία δεν απαιτεί καμιάς μορφής ενίσχυση από πλευράς πομπού-φωτού, συνεπώς δεν απαιτεί και κατανάλωση μεγάλου ποσού ενέργειας.

Παρόμοια λογική χρησιμοποιούν οι κάρτες ταυτοποίησης μέσω ραδιοσυχνοτήτων (RFID) για επικοινωνία μικρών αποστάσεων. [4] [5].

#### 1.4.2 Υπόγειοι αισθητήρες δικτύων



*Εικόνα 5: Υπόγειοι αισθητήρες δικτύων*

Οι αισθητήρες δικτύου κατέχουν εξέχουσα θέση στον τομέα της έρευνας. Η ποικιλία των υπαρχόντων και των μελλοντικών εφαρμογών, ξεκινώντας από τη γεωργία και τη γεωλογία έως την ασφάλεια και πλοήγηση έχει επικεντρώσει την προσοχή των ερευνητών στις δυνατότητες παρακολούθησης ποικίλων υπόγειων συνθηκών. Αναλυτικότερα, στη γεωργία χρησιμοποιούνται υπόγειοι αισθητήρες με σκοπό την παρακολούθηση των συνθηκών του εδάφους, του νερού, των ορυκτών συστατικών και για την παρακολούθηση της ακεραιότητας των υπόγειων δομών του εδάφους. Ακολουθεί η αναφορά μερικών παραδειγμάτων παρακολούθησης της ακεραιότητας των υπόγειων δομών του εδάφους:

- Η εφαρμογή υδραυλικών εγκαταστάσεων
- Η παρακολούθηση κατολισθήσεων
- Οι σεισμοί με την αξιοποίηση σεισμομετρικών οργάνων

Η παρούσα τεχνολογία των υπόγειων αισθητήρων, αποτελείται από:

- την εγκατάσταση (θάμνιμο) ενός αισθητήρα
- τη καλωδίωσή του με ένα καταγραφικό δεδομένων στην επιφάνεια της γης, που έχει την ιδιότητα να αποθηκεύει τις ενδείξεις του αισθητήρα με στόχο την μελλοντική χρήση.

Ένα καταγραφικό με τη σειρά του μπορεί να είναι εξοπλισμένο με μια συσκευή για



ενσύρματη ή ασύρματη μονού βήματος οπίσθια έλξη προς έναν κεντρικό συσσωρευτή όπου συνήθως η ανάκτηση των δεδομένων γίνεται χειροκίνητα μέσω του καταγραφικού. Συνεπώς οι συσκευές αισθητήρων απαιτούν την τοποθέτησή ενσύρματης σύνδεσής στο έδαφος με τη χρήση των θαμμένων αισθητήρων.[6]

### 1.4.3 Υποθαλάσσιοι αισθητήρες

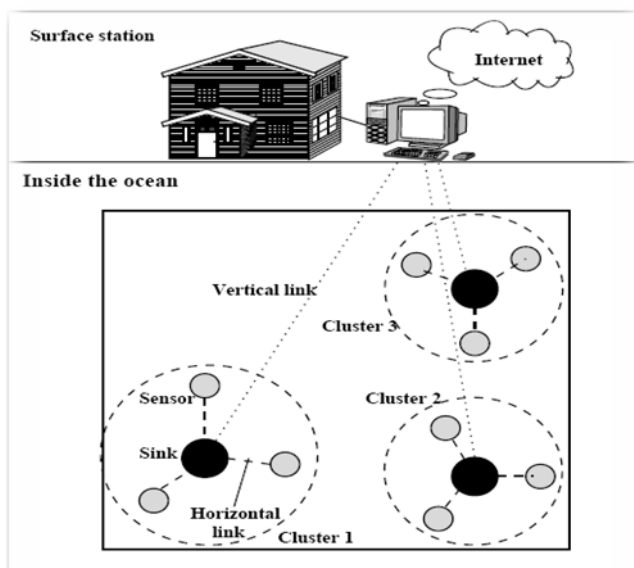


Fig. 1 Underwater Network Environment

**Εικόνα 6: υποθαλάσσια δίκτυα αισθητήρων**

Ένα υποθαλάσσιο δίκτυο απαρτίζεται από ένα σύνολο τοπικών υποθαλάσσιων δικτύων ( UW - LAN, γνωστά ως συστάδες ( clusters ) ή κύτταρα ( cells ) ). Στο παραπάνω δίκτυο κάθε αισθητήρας έχει την ιδιότητα να συνδέεται με την δεξαμενή μέσω της συστάδας. Οι αισθητήρες με τη σειρά τους συνδέονται με τις συστάδες μέσω πολλαπλών αλμάτων μικρών αποστάσεων. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι σε αυτή την κατηγορία δικτύου οι πληροφορίες από την δεξαμενή κάθε συστάδας μεταφέρονται στο σταθμό επιφάνειας μέσω των κάθετων συνδέσεων. Ο σταθμός στην επιφάνεια είναι εξοπλισμένος με τους ακουστικούς πομποδέκτες που είναι σε θέση να χειρίζονται τις πολλαπλές παράλληλες επικοινωνίες με τις συστάδες. [7].

### 1.4.4 Multimedia επιτήρησης δίκτυα αισθητήρων.

Σε αυτή την κατηγορία δικτύων ανήκουν, αισθητήρες βίντεο και ήχου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης τέτοιου δικτύου είναι το δίκτυο το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για να ενισχύσει και να συμπληρώσει τα υφιστάμενα συστήματα επιτήρησης ενάντια στο έγκλημα και τρομοκρατικές επιθέσεις. Μπορούμε να προσθέσουμε ότι μεγάλα δίκτυα αισθητήρων βίντεο έχουν την ικανότητα να παρατείνουν τις δυνατότητες των υπηρεσιών επιβολής του νόμου, να παρακολουθεί δημόσιες εκδηλώσεις, ιδιωτικές περιουσίες ακόμη και τα σύνορα. [8]



*Εικόνα 7:Multimedia δίκτυα αισθητήρων*

### 1.4.5 Κινούμενοι Αισθητήρες

Τα δίκτυα κινούμενων αισθητήρων χαρακτηρίζονται από την κίνηση. Πιο συγκεκριμένα την αλλαγή της φυσικής θέσης ενός αντικειμένου. Υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν την κίνηση στις εξής μορφές:

- Γραμμική (ευθύγραμμη) μετατόπιση
- Γωνιακή μετατόπιση
- Προσέγγιση
- Επιτάχυνση (και ταχύτητα)

Αξίζει να αναφέρουμε ότι πολλές συσκευές ευθύγραμμης και γωνιακής μετατόπισης είναι ικανές να μετρούν την μετατόπιση ως προς το χρόνο και επομένως να μετρούν την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Άλλες συσκευές-αισθητήρες έχουν την ιδιότητα να μετρούν απευθείας την ταχύτητα ή την επιτάχυνση, οι συγκεκριμένες συσκευές καλούνται επιταχυνσιόμετρα.

Οι αισθητήρες διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- ✓ Τους αισθητήρες κίνησης που αφορούν συσκευές μέτρησης κίνησης και επιτάχυνσης
- ✓ Τους αισθητήρες μετατόπισης που αφορούν αισθητήρες που σχετίζονται με αλλαγή θέσης, είτε πρόκειται για μετακίνηση (ευθύγραμμη ή γωνιακή) είτε για προσέγγιση. [9]

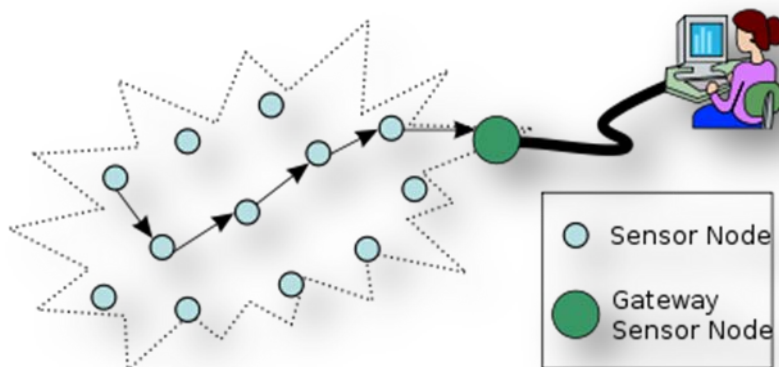
### 1.5 Περιορισμοί των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων παρουσιάζουν ένα εντελώς διαφορετικό σύνολο από περιορισμούς εν συγκρίσει με τα παραδοσιακά δίκτυα. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η ενέργεια. Αυτά τα δίκτυα αποτελούνται από συσκευές που πρέπει να είναι ενεργές αρκετή ώρα με μικρές μπαταρίες.

#### Πηγές Κατανάλωσης Ενέργειας:

• **Άνοιγμα/κλείσιμο ασυρμάτου.** Η ενέργεια είναι ανάλογη του μοντέλου του ασύρματου δικτύου.  
**Μετάδοση δεδομένων.** Η μετάδοση δεδομένων είναι ανάλογη ανά bit από ισχύς μετάδοσης (πχ, τι εμβέλεια θέλουμε να έχει το μήνυμα), του μοντέλου ασύρματου δικτύου.  
**Λήψη δεδομένων.** Αναμονή για δεδομένα (χωρίς κάτι να λαμβάνεται εκείνη την ώρα). Η ενέργεια στις τρεις παραπάνω περιπτώσεις εξαρτάται και **από το χρόνο**. Επιπλέον αντιμετωπίζουν κάποια προβλήματα λόγω των περιορισμών που υπάρχουν στους αισθητήρες. Λόγου χάρι: οι περιορισμένοι πόροι, οι χαμηλές υπολογιστικές δυνατότητες και η μικρή μνήμη. Ευτυχώς, οι δυνατότητες των αισθητήρων έχουν αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια και επιπλέον έχουν δημιουργηθεί αλγόριθμοι με μικρές απαιτήσεις μνήμης και μικρή πληροφορία/αισθητήρα. [2]

## 1.6 Εφαρμογές δικτύων αισθητήρων



*Εικόνα 8: WSN Network*

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα γίνει μια μικρή αναφορά στις εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων, ουσιαστικά αυτό γίνεται για να προλογίσει το κεφάλαιο που ακολουθεί. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν εφαρμογές σε :

- Πρόληψη καταστροφών
- Έλεγχο του περιβάλλοντος από τη βιοποικιλότητα
- Ευφυή κτήρια
- Διαχείριση εγκαταστάσεων
- Συντήρηση Μηχανών
- Εφαρμογές στη γεωργία
- Εφαρμογές στην υγεία
- Ευφυή οδικά συστήματα
- Στρατιωτικές εφαρμογές
- Οικιακές εφαρμογές
- Βιομηχανικές εφαρμογές
- Υποβρύχιες εφαρμογές
- Εμπορικές εφαρμογές

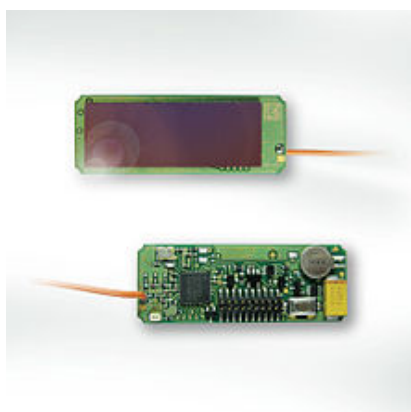
Όλες οι παραπάνω εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων θα αναλυθούν στο κεφάλαιο 2.[2]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

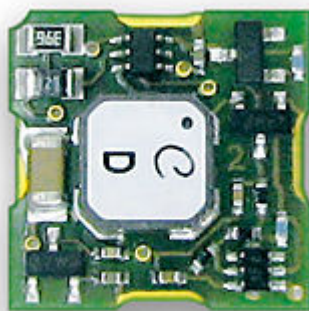
### Τα Βασικά Πρότυπα των Δικτύων Αισθητήρων

#### 2.1 Το πρότυπο EnOcean

Με τον όρο EnOcean αναφερόμαστε σε μια ασύρματη τεχνολογία, η οποία κατά κύριο λόγο ασχολείται με την κατασκευή συστημάτων αυτοματισμού. Η παραπάνω τεχνολογία έχει εφαρμογές και σε άλλους τομείς όπως η βιομηχανία, οι μεταφορές, logistics και τα έξυπνα σπίτια. Χαρακτηριστικό των εφαρμογών αποτελεί η συνύπαρξη μικρομετατροπέων ενέργειας (με εξαιρετικά χαμηλή ηλεκτρονικά ισχύ) και δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας με ασύρματους αισθητήρες, διακόπτες, ελεγκτές και πύλες. Η EnOcean τεχνολογία βασίζεται στην ενεργειακά αποδοτική εκμετάλλευση από το περιβάλλον. Σημαντικό θα είναι να προσθέσουμε ότι τα προϊόντα της τεχνολογίας EnOcean (όπως αισθητήρες και διακόπτες για το φως) έχουν την ικανότητα να δουλεύουν χωρίς χρήση μπαταρίας και να λειτουργούν χωρίς συντήρηση. Η εμβέλεια των ραδιοσημάτων των αισθητήρων και διακοπών φτάνει έως 300 μέτρα σε ανοικτό χώρο και μέχρι 30 μέτρα στο εσωτερικό κτιρίων. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν γεννήτριες πιεζοηλεκτρικών, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου αντικαταστάθηκαν από πηγές ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με απώτερο σκοπό την μείωση της δύναμης λειτουργίας και την αύξηση της διάρκειας ζωής.



*Εικόνα 9: Ultra Low Power Converter DC / DC*



*Εικόνα 10: Εσωτερικό Converter φωτός*

Παράδειγμα της τεχνολογίας αποτελεί ένας ασύρματος διακόπτης φωτός χωρίς μπαταρία. Πλεονεκτεί λόγω του ότι εξοικονομεί χρόνο και υλικό, αφού δεν αποτελείται από καλώδια. Συνεπώς ελαχιστοποιεί το θόρυβο για μεταγωγή κυκλωμάτων.

### 2.1.1 Η ιστορία του EnOcean

Η εταιρία EnOcean χρηματοδοτείται από τη Siemens AG. Πρόκειται για μια γερμανική εταιρεία που εδρεύει στο Oberhaching , κοντά στο Μόναχο , η οποία απασχολεί σήμερα 60 εργαζόμενους σε Γερμανία και ΗΠΑ. Ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή:

- Το 2001 ιδρύθηκε.
- Το 2002 κέρδισε το βραβείο της Βαυαρίας Καινοτομίας.
- Το 2006 κέρδισε το βραβείο "τεχνολογία της Pioneer 2006".
- Το 2007 κέρδισε το βραβείο "Top-10 προϊόντων για το 2007" από την Building Green.
- Τον Νοέμβριο του 2007, η MK Electric, η κατασκευαστής των ηλεκτρικών εξαρτημάτων καταναλωτών στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενέκρινε την EnOcean τεχνολογία για ασύρματους διακόπτες.
- Τον Απρίλιο του 2012 κυρώθηκε με το διεθνές πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας ISO / IEC 14543-3-10 τεχνολογίας πληροφοριών. [10].

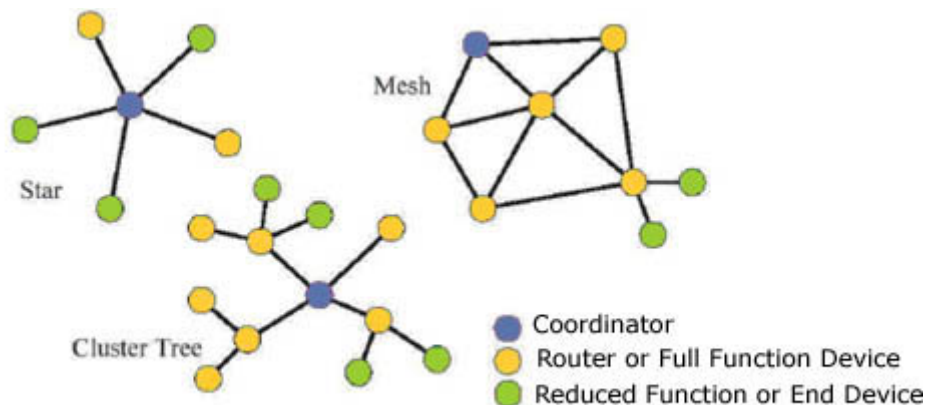
### 2.2 Το πρότυπο ZigBee



*Εικόνα 11: Η τεχνολογία ZigBee*

Το πρότυπο ZigBee αποτελεί μια σουίτα πρωτοκόλλων επικοινωνίας υψηλού επιπέδου το οποίο έχει ως κύριο μέλημα του τη δημιουργία δικτύων προσωπικής περιοχής. Χαρακτηριστικό των συσκευών του προτύπου ZigBee αποτελεί η μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια ενδιάμεσων συσκευών δημιουργώντας δίκτυο πλέγματος. Οι εφαρμογές του παραπάνω προτύπου διακρίνονται για το χαμηλό ρυθμό δεδομένων, την μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας, και την ασφαλή δικτύωση. Περιλαμβάνουν ασύρματους διακόπτες φωτός, συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας και εξοπλισμό που απαιτεί μικρής εμβέλειας ασύρματη μεταφορά δεδομένων σε σχετικά χαμηλές τιμές. Η τεχνολογία ZigBee είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από ότι άλλες WPANs (βλ. Bluetooth ,Wi-Fi ). Το χαμηλό κόστος επιτρέπει στην τεχνολογία να αναπτυχθεί ευρέως σε ασύρματες εφαρμογές ελέγχου και παρακολούθησης, ενώ η χαμηλή κατανάλωση ισχύος της επιτρέπει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής με μικρότερες μπαταρίες. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι η ZigBee λειτουργεί σε βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές ( ISM ) ραδιοσυχνότητες: 868 MHz στην Ευρώπη, 915 MHz στις ΗΠΑ και την Αυστραλία και 2,4 GHz στις περισσότερες χώρες σε όλο τον κόσμο με ταχύτητες μετάδοσης

δεδομένων που κυμαίνονται από 20 kilobits / δευτερόλεπτο στη ζώνη συχνοτήτων 868 MHz έως 250 kilobits / δευτερόλεπτο στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz.



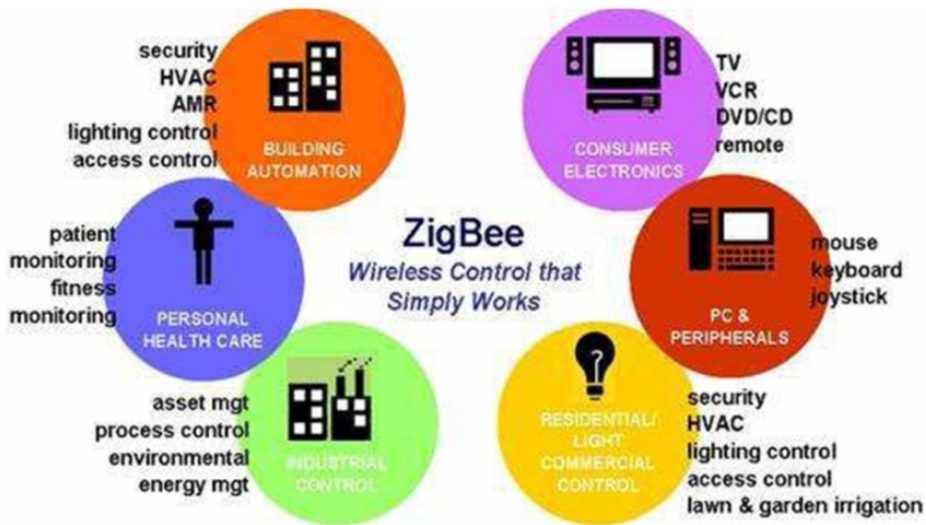
**Εικόνα 12: Τοπολογίες δικτύων**

Οι τοπολογίες που υποστηρίζονται από το στρώμα δικτύου ZigBee είναι η τοπολογία αστέρι, πλέγμα και δέντρο. Βασικό ρόλο σε κάθε δίκτυο έχει ο 'συντονιστής'. Ο συντονιστής είναι μια συσκευή η οποία είναι υπεύθυνη για την παραμετροποίηση και τη βασική συντήρηση του δικτύου. Στην τοπολογία αστέρι ο συντονιστής αποτελεί τον κύριο κόμβο του δικτύου.

### 2.2.1 Η ιστορία του ZigBee

- Το 1998 επινοήθηκε το πρότυπο ZigBee.
- Το 2003 τυποποιήθηκε το πρότυπο ZigBee.
- Το 2006 αναθεωρήθηκε το πρότυπο ZigBee.
- Τον Οκτώβρη του 2004 ανακοινώθηκε η συμμαχία του προτύπου ZigBee.
- Τον Απρίλιο του 2005 τα μέλη- εταιρίες αυξήθηκαν σε πάνω από 150.
- Το Δεκέμβριο του 2005 τα μέλη- εταιρίες έφτασαν τα 200 .
- Το Δεκέμβριο του 2004 επικυρώθηκαν οι προδιαγραφές του ZigBee.
- Τον Ιούνιο του 2005, καθιερώθηκε ως προδιαγραφή ZigBee 2004.
- Τον Σεπτέμβριο του 2006, καθιερώθηκε ως προδιαγραφή ZigBee 2006.
- Τον Οκτώβρη του 2007 καθιερώθηκε ως ZigBee PRO.

## 2.2.2 Οι χρήσεις του ZigBee



Εικόνα 13: Οι εφαρμογές του Zigbee

Το πρότυπο ZigBee όπως προαναφέραμε σχετίζεται με χαμηλές ταχύτητες δεδομένων και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες τυπικές περιοχές εφαρμογής:

- Home Entertainment and Control - αυτοματισμοί σπιτιού, έξυπνος φωτισμός, έλεγχος της θερμοκρασίας, ασφάλεια, ταινίες και μουσική.
- Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.
- Ο έλεγχος της βιομηχανικής.
- Η ιατρική συλλογή δεδομένων.
- Ο καπνός προειδοποίησης. [11].



## 2.3 Το πρότυπο RuBee

Το RuBee ( πρότυπο IEEE 1902.1 ) αποτελεί ενεργό ασύρματο πρότυπο σχεδιασμένο για περιβάλλον υψηλής ασφάλειας εφαρμογών. Το προαναφερθέν πρότυπο διακρίνεται για τη χρήση (LW) μαγνητικών σημάτων με βασικό σκοπό τόσο τη λήψη όσο και την αποστολή πακέτων δεδομένων σε ένα τοπικό περιφερειακό δίκτυο. Το RuBee έχει πολλές ομοιότητες με το IEEE 802. Παρόλα αυτά διαφέρει στο ότι χρησιμοποιεί φορέα χαμηλής συχνότητας (131 kHz). Η συχνότητα του RuBee παρουσιάζει καθυστέρηση εν σύγκριση άλλων προτύπων, αλλά πλεονεκτεί για την εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την ορθή λειτουργία κοντά στο χάλυβα ή το νερό. Αξιοσημείωτο είναι ότι το RuBee χρησιμοποιεί μεγάλα μήκη κύματος συνεπώς έχει τη δυνατότητα ταυτόχρονης μετάδοσης και λήψης από γειτονικές κεραιές, χωρίς παρεμβολές. Τροχοπέδη αποτελεί η ενίσχυση του εύρους ζώνης και η αφαίρεση ευαισθησίας στα συστήματα RF. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό του RuBee είναι ότι δεν έχει αντανakλάσεις και δεν εμποδίζεται από το χάλυβα κάτι που το κάνει ανθεκτικό σε δυνατές προβολές και ασφαλή στις περιβαλλοντικές εφαρμογές. Το πρότυπο RuBee είναι η μόνη ασύρματη τεχνολογία που έχει εγκριθεί για ασφαλείς εγκαταστάσεις. Η κύρια διαφορά μεταξύ RuBee και WiFi ή Zigbee είναι ότι το RuBee λειτουργεί χρησιμοποιώντας το μαγνητικό πεδίο, ενώ το WiFi, το Bluetooth, το Delta7, και το Zigbee λειτουργούν σε ζώνες VHF, UHF ή SHF με το ηλεκτρικό πεδίο.

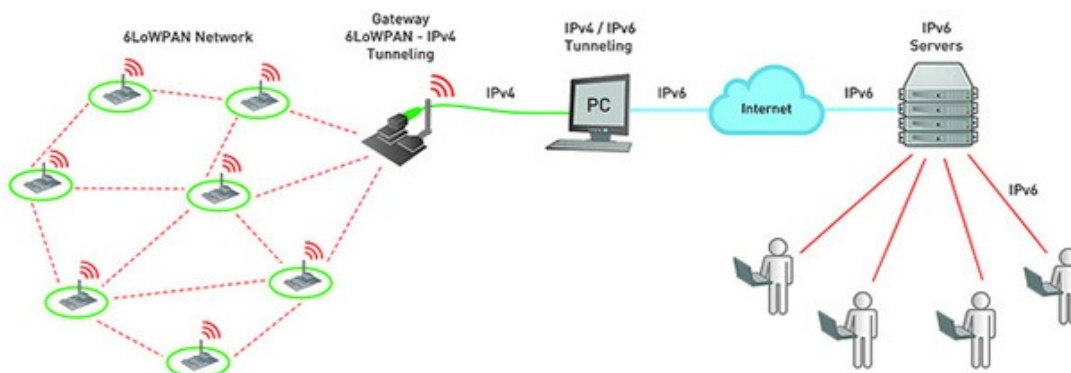
### 2.3.1 Τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα του RuBee

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα του προτύπου RuBee είναι η ταχύτητα και το μέγεθος του πακέτου. Το πρότυπο RuBee περιορίζεται σε 1.200 baud σε ήδη υπάρχουσες εφαρμογές εν αντιθέσει με το IEEE 1902.1 το οποίο ορίζει 1.200 baud. Το μέγεθος του πακέτου είναι περιορισμένο σε δεκάδες έως εκατοντάδες bytes. Επίσης σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι ο σχεδιασμός του RuBee παραιτείται τόσο του υψηλού εύρους ζώνης όσο και της υψηλής ταχύτητας.

Η χρήση LW μαγνητικής ενέργειας επιφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα:

- Μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας .
- Υψηλή ασφάλεια και προστασία.
- Ελεγχόμενο ογκομετρικό φάσμα .
- Λιγότερο θόρυβο. [12].

## 2.4 Το πρότυπο 6LoWPAN



**Εικόνα 14:** Το πρότυπο 6LoWPAN

Το πρότυπο 6LoWPAN προήλθε από την ιδέα ότι: «το Πρωτόκολλο Διαδικτύου μπορεί και πρέπει να εφαρμοστεί ακόμη και στις μικρότερες συσκευές και ότι οι συσκευές χαμηλής ισχύος, με περιορισμένες δυνατότητες επεξεργασίας θα πρέπει να είναι σε θέση να συμμετάσχουν στο Ίντερνετ».

Η τεχνολογία 6LoWPAN έχει καθορίσει τους μηχανισμούς που επιτρέπουν πακέτα να σταλούν και να ληφθούν από το IEEE 802.15.4. Τα IPv4 και IPv6 είναι υπεύθυνα για την παράδοση στοιχείων στα τοπικά δίκτυα, τα δίκτυα μητροπολιτικής περιοχής, καθώς και τα δίκτυα ευρείας περιοχής, όπως το Internet. Στόχος της IP δικτύωσης για ραδιοεπικοινωνία χαμηλής ισχύος είναι οι εφαρμογές που απαιτούν ασύρματη σύνδεση στο internet σε χαμηλότερες ταχύτητες δεδομένων για τις συσκευές με πολύ περιορισμένη μορφή παράγοντας. Αξίζει να προσθέσουμε ότι το IPv6 χρησιμοποιείται στο έξυπνο δίκτυο που επιτρέπει σε ευφείς μετρητές και άλλες συσκευές την κατασκευή ενός micro mesh δικτύου πριν από την αποστολή των δεδομένων πίσω στο σύστημα χρέωσης.

### 2.4.1 Οι λειτουργίες του 6LoWPAN

Το πρότυπο 6LoWPAN χαρακτηρίζεται από:

- Προσαρμογή του μεγέθους των πακέτων δύο δικτύων .
- Ψήφισμα Διεύθυνση .
- Διαφορετικά σχέδια της συσκευής .
- Διαφορετική έμφαση στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων.
- Στρώμα προσαρμογής για τη διαλειτουργικότητα .
- Αντιμετώπιση των μηχανισμών διαχείρισης .
- Δρομολόγηση σκέψης .
- Συσκευή και υπηρεσία ανακάλυψης.
- Ασφάλεια [13].

## 2.5 ISA100.11a



*Εικόνα 15: Το πρότυπο ISA100.11a*

Το ISA100.11a είναι ένα πρότυπο ασύρματης δικτύωσης το οποίο αναπτύχθηκε από τη Διεθνή Εταιρεία Αυτοματισμού (ISA). Αξίζει να αναφέρουμε ότι η επιτροπή ISA100 ιδρύθηκε το 2005 με βασικό σκοπό την καθιέρωση προτύπων που θα καθορίζουν τις διαδικασίες για την υλοποίηση ασύρματων συστημάτων, την αυτοματοποίηση και τον έλεγχο του περιβάλλοντος, με έμφαση στο τοπικό επίπεδο. Η προαναφερθείσα επιτροπή αποτελείται από 400 επαγγελματίες αυτοματισμού και από περίπου 250 εταιρείες σε όλο τον κόσμο. Τα μέλη της επιτροπής έχουν την ικανότητα να μεταδώσουν την εμπειρογνομοσύνη τους στην προώθηση της σειράς ISA100 προτύπων.

### 2.5.1 Η ιστορία του ISA100.11a

- Το 2009 ιδρύθηκε το ISA100 .
- Τον Ιούλιο του 2009 ανακοινώθηκε το λογισμικό ISA100.11a .
- Τον Οκτώβριο του 2009 οι Arkema σε συνδυασμό με την ISA100 διεξήγαγαν τη διαλειτουργικότητα του πωλητή.
- Το 2010 η επιτροπή ISA100 ενέκρινε τη διόρθωση της έκδοση του 2009 [14].

## 2.6 Bluetooth LE, ή BLE



**Εικόνα 16:Bluetooth LE**

Το Bluetooth χαμηλής ενέργειας (βλ. Bluetooth LE, ή BLE) αποτελεί τεχνολογία που έχει σχεδιαστεί με στόχο την καινοτομία εφαρμογών στην υγειονομική περίθαλψη, στις βιομηχανίες, την ασφάλεια και την οικιακή ψυχαγωγία. Βασική της προτεραιότητα είναι να παρέχει όσο το δυνατό χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και χαμηλό κόστος, χωρίς όμως αυτό να επιφέρει επιπτώσεις στο εύρος επικοινωνίας. Η αρχική ονομασία του προτύπου ήταν Wibree. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε να αναφερθούμε στην προδιαγραφή Bluetooth 4.0 η οποία επιτρέπει χρήση συσκευών διπλής λειτουργίας. Το πρότυπο Bluetooth LE χρησιμοποιεί τις ίδιες 2,4 GHz ραδιοσυχνότητες ως κλασικό Bluetooth, ώστε οι συσκευές dual-mode να μπορούν να μοιραστούν μια ενιαία κεραία ραδιοφώνου. Σημαντικό γεγονός αποτελεί η καθιέρωση του Bluetooth SMART, από το Bluetooth SIG το 2011. Το Bluetooth SMART χρησιμοποιήθηκε για να διευκρινιστεί η συμβατότητα μεταξύ των συσκευών LE. Το Bluetooth SIG προσδιορίζει μια σειρά από αγορές χαμηλής ενεργειακής τεχνολογίας, ιδίως στους τομείς της υγείας, του αθλητισμού και φυσικής κατάστασης.

Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά σε βασικά πλεονεκτήματα του προαναφερθέντος προτύπου:

- χαμηλές απαιτήσεις ισχύος
- μικρό μέγεθος
- χαμηλό κόστος
- συμβατότητα με μια μεγάλη εγκατεστημένη βάση των κινητών τηλεφώνων, και τους υπολογιστές

### 2.6.1 Η ιστορία του Bluetooth LE

- Το 2001, ερευνητές της Nokia ξεκίνησαν την ανάπτυξη μιας ασύρματης τεχνολογίας προσαρμοσμένης από το πρότυπο Bluetooth.
- Το 2004 πραγματοποιήθηκε η δημοσίευση των αποτελεσμάτων με όνομα Bluetooth Low End .
- Τον Οκτώβριο του 2006, η τεχνολογία κυκλοφόρησε με την επωνυμία Wibree.
- Τον Ιούνιο του 2007, επετεύχθη μια συμφωνία ώστε να συμπεριληφθεί η τεχνολογία Bluetooth ως τεχνολογία εξαιρετικά χαμηλής ισχύος.
- Ένταξη της χαμηλής ενέργειας Bluetooth με την έκδοση 4.0 του Core.
- Στις αρχές του 2010 πραγματοποιήθηκε η ολοκλήρωση προδιαγραφών.
- Τον Οκτώβριο του 2011 κυκλοφόρησε η πρώτη διάταξη για την εφαρμογή της προδιαγραφής 4.0 .
- Το 2012 κυκλοφόρησαν συσκευές άλλων κατασκευαστών.

### 2.6.2 Οι εφαρμογές του Bluetooth LE

Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στις περιοχές εφαρμογών του Bluetooth χαμηλής ενέργειας:

- Προφίλ υγειονομικής περίθαλψης.
- Αθλητισμός και προφίλ fitness.
- Ανίχνευση προσέγγισης.
- Ειδοποιήσεις και προφίλ χρόνου.

### 2.6.3 Οι τεχνικές λεπτομέρειες του Bluetooth LE

Τόσο η χαμηλή ενεργειακή τεχνολογία Bluetooth όσο και το Classic Bluetooth χρησιμοποιούν συχνότητες μεταπήδησης για την αντιμετώπιση των προβλημάτων παρεμβολών στενής ζώνης. Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας των δύο τεχνολογιών:

| Τεχνικές Προδιαγραφές                         | Κλασικό τεχνολογία Bluetooth                               | Bluetooth χαμηλής ενεργειακής τεχνολογίας   |
|---|--|---|
| Απόσταση / Εύρος (θεωρητικό max.)             | 100 m (330 ft)   | > 100 m (> 330 ft)  |
| Ρυθμό δεδομένων αέρος                         | 1-3 Mbit / s   | 1 Mbit / s  |
| Ασφάλεια                                      | 56/128-bit   | 128-bit   |
| Ευρωστία                                      | Adaptive γρήγορη μεταπήδησης συχνοτήτων, FEC , γρήγορη ACK | Adaptive μεταπήδησης συχνοτήτων, Lazy Αναγνώριση, 24-bit CRC, 32-bit Έλεγχος ακεραιότητας μηνύματος |
| Latency                                       | Συνήθως 100 ms   | 6 ms  |
| Ο συνολικός χρόνος για την αποστολή δεδομένων | 100 ms   | 3 ms, <3 ms   |

|                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| Voice ικανό              | Ναί   | Όχι  |
| Τοπολογία του δικτύου    | Scatternet  | Scatternet   |
| Κατανάλωση ρεύματος      | 1 ως αναφορά  | 0,01 έως 0,5   |
| Peak κατανάλωση ρεύματος | <30 mA  | <15 mA   |
| κύρια χρήση              | Τα κινητά τηλέφωνα, παιχνίδια, ακουστικά, ροή στερεοφωνικού ήχου, αυτοκίνητα, υπολογιστές, την ασφάλεια, την εγγύτητα, την υγειονομική περίθαλψη, τον αθλητισμό και γυμναστήριο, κλπ. | παιχνίδια, υπολογιστές, ρολόγια, αθλητισμού και φυσικής κατάστασης, της υγείας, της ασφάλειας και της εγγύτητας, αυτοκίνητα, οικιακές συσκευές, αυτοματισμοί, Industrial, κλπ. |

Περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες μπορούν να ληφθούν από τις επίσημες προδιαγραφές, όπως δημοσιεύονται από την Bluetooth SIG. Σημειώστε ότι η κατανάλωση ενέργειας δεν είναι μέρος της προδιαγραφής Bluetooth.

Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας των προτύπων Bluetooth LE και του ZigBee:

|                 | Bluetooth LE    | ZigBee          |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| IEEE            | 802.15.1        | 802.15.4        |
| Network Type    | PAN             | LAN             |
| Configuration   | Star            | Mesh            |
| Service Area    | Small           | Large           |
| Device Types    | Mobile          | Stationary      |
| Communication   | Synchronous     | Asynchronous    |
| Frequency       | 2.4 GHz         | 2.4 GHz/915 MHz |
| Data Throughput | 1 Mbps          | 250/40 kbps     |
| Battery Life    | Months to years | Months to years |

[15]

## 2.7 DASH7

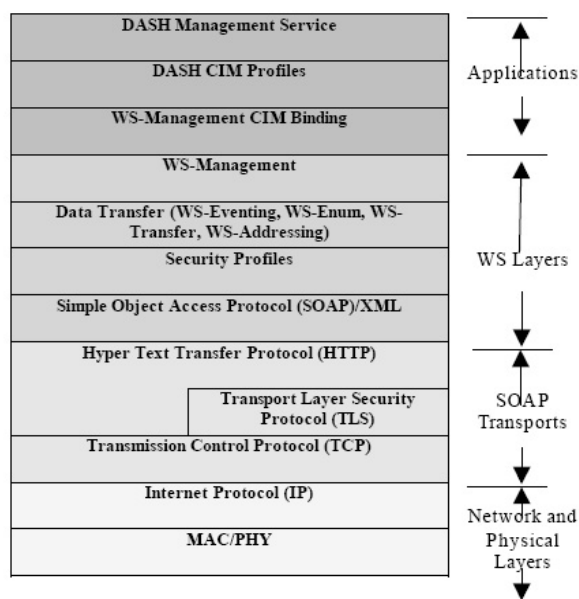


Fig. 1- DASH Protocol Stack

### Εικόνα 17: Το πρότυπο DASH7

Το DASH7 αποτελεί ένα πρότυπο ανοιχτού κώδικα. Το πρότυπο DASH7 σχετίζεται με την ασύρματη δικτύωση αισθητήρων, η οποία δραστηριοποιείται στη ζώνη των 433 MHz. Το παραπάνω πρότυπο δίνει τη δυνατότητα παροχής μεγάλου χρόνου ζωής στη μπαταρία.

### 2.7.1 Η ιστορία του DASH7

- Τον Ιανουάριο του 2009, το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ ανακοίνωσε το μεγαλύτερο βραβείο RFID για συσκευές DASH7.
- Τον Μάρτιο του 2009, η DASH7 Alliance, μια μη κερδοσκοπική βιομηχανία προώθησε της διαλειτουργικότητας μεταξύ των DASH7 συσκευών.
- Τον Ιούλιο του 2010 πάνω από πενήντα συμμετέχοντες σε 23 χώρες.
- Τον Απρίλιο του 2011, η DASH7 συμμαχία ανακοίνωσε την έγκριση του DASH7 2, μια έκδοση της επόμενης γενιάς του προτύπου ISO 18000-7.
- Τον Μάρτιο του 2012, η DASH7 συμμαχία ανακοίνωσε ότι έκανε τις προδιαγραφές του DASH7 2 διαθέσιμες για τα μη μέλη σε βάση ανοικτού κώδικα.
- Τον Ιούλιο του 2013, η συμμαχία ανακοίνωσε το σχεδιασμό του πρωτοκόλλου Alliance 0.2.

### 2.7.2 Οι εφαρμογές του DASH7

Το πρότυπο DASH7 έχει πολλές εφαρμογές ορισμένες από τις οποίες φαίνονται παρακάτω:

- Αυτοματισμοί κτιρίων , έλεγχος πρόσβασης , Smart Energy .
- Location-Based Services .
- Κινητή διαφήμιση .
- Αυτοκίνητο.
- Logistics
- Αμυντικές εφαρμογές:
  - από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ (DoD) και άλλους στρατούς.
  - από το ΝΑΤΟ σε συνεργασία με το δίκτυο του Υπουργείου Άμυνας με σκοπό την ανάπτυξη διαλειτουργικών υποδομών [16].

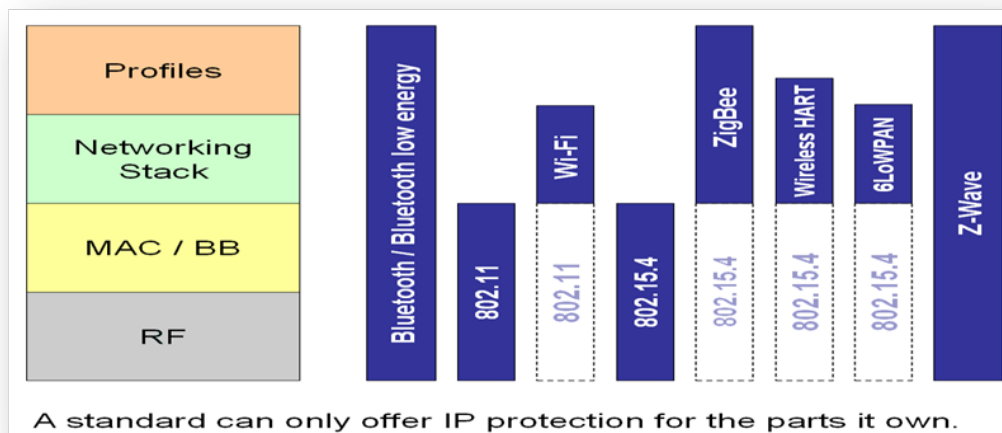


Ακολουθούν δύο συγκριτικοί πίνακες όλων των παραπάνω τεχνολογιών:

|               | Range | Battery Life | In Building Coverage | Low Latency | Multi-hop | Co-existw 802.11n | Penetrates Concrete | Penetrates Water | "Bends" Around Metal | Tracks Moving Things | Security | Globally Available | Small Protocol Stack | Data Rate | Major Customers |
|---------------|-------|--------------|----------------------|-------------|-----------|-------------------|---------------------|------------------|----------------------|----------------------|----------|--------------------|----------------------|-----------|-----------------|
| DASH7         | ✓     | ✓            | ✓                    | ✓           | ✓         | ✓                 | ✓                   | ✓                | ✓                    | ✓                    | ✗        | ✓                  | ✓                    | ✗         | ✓               |
| Zigbee        | ✓     | ✓            | ✗                    | ✗           | ✓         | ✗                 | ✗                   | ✗                | ✗                    | ✗                    | ✓        | ✓                  | ✗                    | ✓         | ✓               |
| LE Bluetooth  | ✗     | ✓            | ✗                    | ✗           | ✗         | ✗                 | ✗                   | ✗                | ✗                    | ✗                    | ✓        | ✓                  | ✗                    | ✓         | ✗               |
| WiFi          | ✓     | ✗            | ✗                    | ✗           | ✓         | ✓                 | ✗                   | ✗                | ✗                    | ✗                    | ✓        | ✓                  | ✗                    | ✓         | ✓               |
| Low Power UWB | ✗     | ✗            | ✗                    | ✗           | ✗         | ✗                 | ✗                   | ✗                | ✗                    | ✗                    | ✓        | ✓                  | ✓                    | ✓         | ✗               |

✓ Good     
 ✗ Fair     
 ✗ Poor

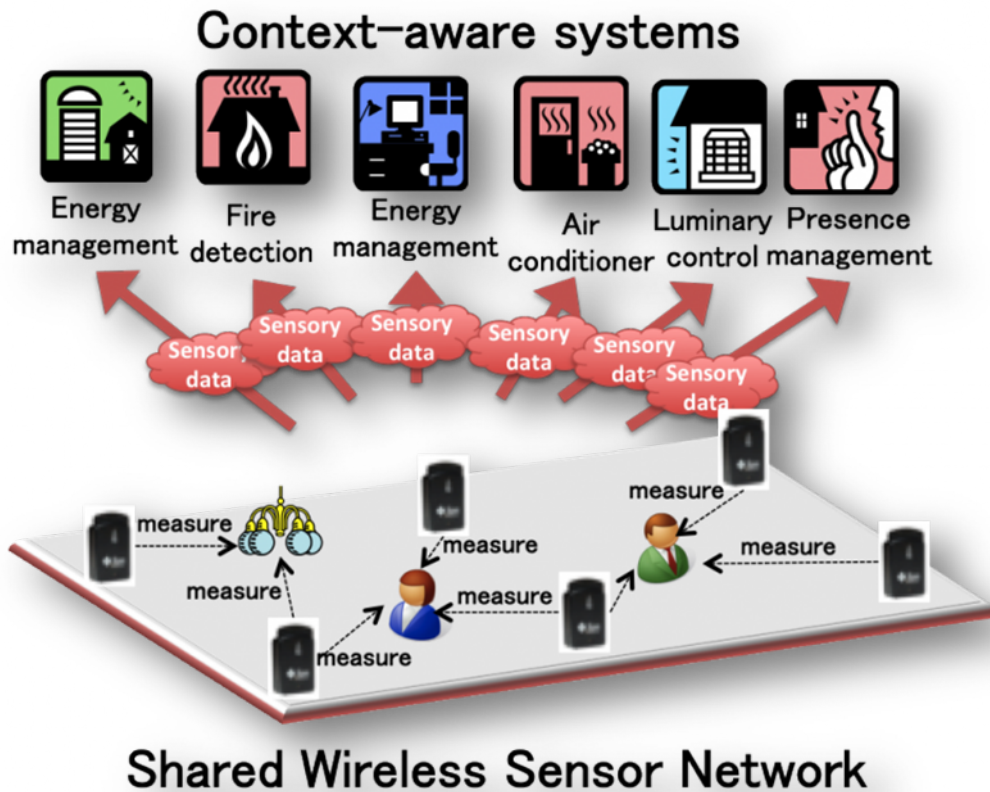
Εικόνα 18: Σύγκριση των προτύπων



Εικόνα 19: Σύγκριση των προτύπων

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

### Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων



*Εικόνα 20: Εφαρμογές WsN Networks*

Οι εφαρμογές ενός ασύρματου δικτύου είναι πολλές και περιορίζονται μόνο από τη φαντασία του χρήστη. Τα τελευταία χρόνια, τα WLANs βρίσκουν εφαρμογή διεθνώς σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων αυτών της υγείας, της παιδείας, των απλών κατοικιών καθώς και των ακαδημαϊκών ιδρυμάτων.

Όπως προλογίσαμε στο πρώτο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

### 3.1 Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Τα δίκτυα αισθητήρων δεν θα μπορούσαν παρά να έχουν εξέχουσα θέση και στις περιβαλλοντολογικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα έχουν να κάνουν με:

- Τον έλεγχο των κινήσεων των πουλιών, μικρών ζώων και εντόμων.
- την παρακολούθηση των περιβαλλοντολογικών συνθηκών που επηρεάζουν τη χλωρίδα και την πανίδα.
- την άρδευση.
- την εντολή σειράς ενεργειών για παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας της γης.
- την εξερεύνηση του πλανήτη.
- τη χημική και βιολογική ανίχνευση.
- την ακριβή γεωργία.
- τη βιολογική και περιβαλλοντολογική παρακολούθηση της θάλασσας, του εδάφους και του αέρα.
- την ανίχνευση πυρκαγιών.
- την μετεωρολογική και γεωφυσική έρευνα.
- την ανίχνευση πλημμυρών.
- την ανίχνευση σύνθετων ζωντανών οργανισμών του περιβάλλοντος.
- την μελέτη μολύνσεων.

Ακολουθεί μια αναλυτικότερη αναφορά στις παραπάνω περιβαλλοντικές εφαρμογές:

#### 3.1.1 Παρακολούθηση σύνθετων βιολογικών οργανισμών του περιβάλλοντος

Μια τέτοια δραστηριότητα απαιτεί εξεζητημένες προσεγγίσεις για τον συνδυασμό των πληροφοριών χρόνου και χώρου. Η εξέλιξη των τεχνολογιών στον τομέα της ασύρματης ανίχνευσης και της αυτόματης συλλογής δεδομένων έχουν δώσει μεγαλύτερη φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση με γεωμετρικά μειούμενο το κόστος ανά μονάδα περιοχής. Μαζί με αυτές τις εξελίξεις, οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν επίσης την δυνατότητα να συνδέονται με το διαδίκτυο, το οποίο επιτρέπει σε απομακρυσμένους χρήστες να ελέγχουν, να παρακολουθούν και να παρατηρούν την βιοσυνθετικότητα του περιβάλλοντος. Μολονότι οι δορυφορικοί και αεροπορικοί αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στη μεγάλη κλίμακα βιοδιαφορών, π.χ. χωρική πολυπλοκότητα των επικρατούντων ειδών φυτών, υστερούν στο διαχωρισμό των μικρών βιοδιαφορών οι οποίες είναι και οι περισσότερες σε ένα οικοσύστημα. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι, απαιτείται η εγκατάσταση ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων στο έδαφος για την παρακολούθηση της βιοσυνθετικότητας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το καταφύγιο James στη Νότια Καλιφόρνια. Τρία παρακολουθούμενα πλέγματα από τα οποία το καθένα είχε 25-100 αισθητήριους κόμβους υλοποιήθηκαν για σταθερή πολυμεσική θέα και συγκέντρωση πληροφοριών σε ημερολόγια περιβαλλοντολογικής φύσης. [17] [18].

### 3.1.2 Πρόληψη φυσικών καταστροφών



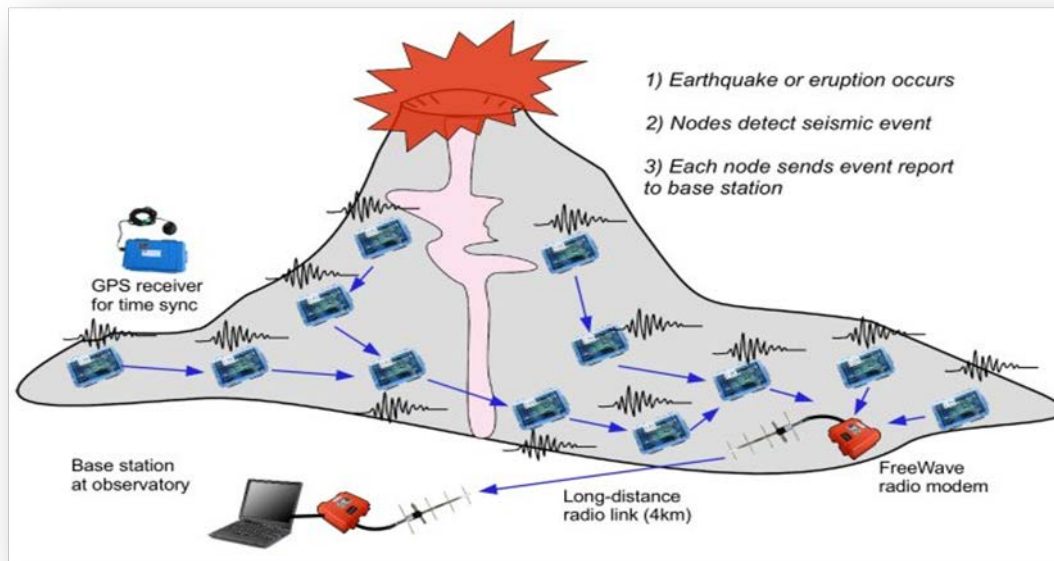
*Εικόνα 21: Χρήση αισθητήρων για την πρόληψη από φυσικές καταστροφές*

Αποτρεπτικά σε σχέση με τις φυσικές καταστροφές (λ.χ. πλημμύρες) λειτουργούν τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν ασύρματοι κόμβοι οι οποίοι κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί σε ποτάμια (έχοντας θετική έκβαση), όπου λόγω των συνεχών μεταβολών της υδάτινης στάθμης καθίσταται αναγκαία η συνεχή παρακολούθησή της σε πραγματικό χρόνο.

#### 3.1.2.1 Ανίχνευση πλημμυρών

Για την ανίχνευση των πλημμυρών αρκεί να αναφέρουμε το σύστημα ALERT που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Στο προαναφερθέν σύστημα αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι αισθητήρων λόγω χάρη βροχόπτωσης, μέτρησης επιπέδων του νερού και καιρού. Οι αισθητήρες του συστήματος ALERT παρέχουν πληροφορίες με τη χρήση μιας βάσης δεδομένων. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι ερευνητικά προγράμματα, όπως το COUGAR, εξετάζουν καταναεμημένες προσεγγίσεις αναφορικά με την αλληλεπίδραση με τους αισθητήρες σε ένα πεδίο αισθητήρων προκειμένου να παρέχουν άμεσες αλλά μακροχρόνιες επερωτήσεις. [20] [21].

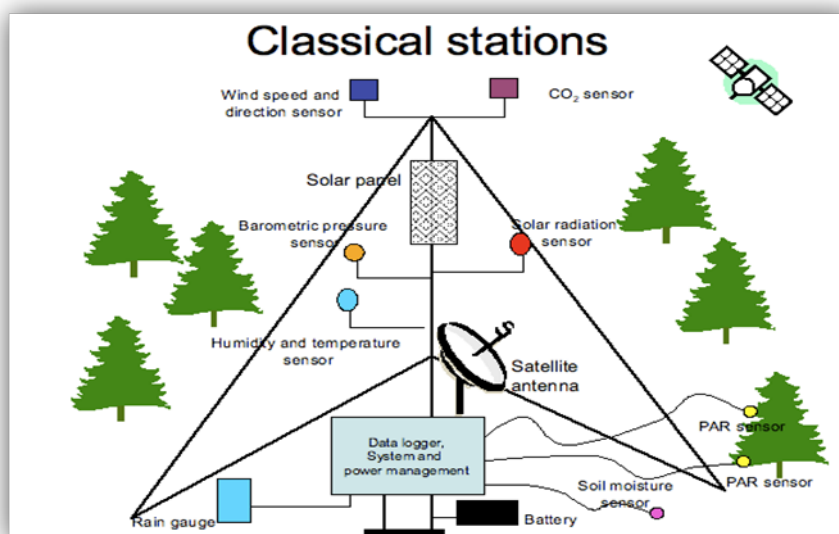
### 3.1.2.2 Περιβαλλοντική / γεωσκόπηση



Εικόνα 22: Χρήση αισθητήρων σε ηφαίστειο

Τα δίκτυα που ασχολούνται με την έρευνα της γεωλογίας καλούνται περιβαλλοντικά δίκτυα αισθητήρων. Πιο συγκεκριμένα έχουν να κάνουν με αισθητήρες ηφαιστειών, ωκεανών, παγετώνων, δασών κτλ.

### 3.1.2.3 Ανίχνευση δασικών πυρκαγιών



### **Εικόνα23: Χρήση αισθητήρων για έλεγχο πυρκαγιάς**

Η τοποθέτηση αισθητήριων κόμβων σε ένα δάσος γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εμποδίζουν την πυρκαγιά να εξαπλωθεί ανεξέλεγκτα. Σε πολύ κοντινές αποστάσεις εγκαθίστανται εκατομμύρια αισθητήριων κόμβων και δημιουργούν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα χρησιμοποιώντας ασύρματες συχνότητες και οπτικά συστήματα. Οι παραπάνω κόμβοι μπορούν να εξοπλιστούν με ηλιακές κυψέλες, ώστε να λειτουργούν σωστά και όχι άσκοπα ακόμη και για μήνες ή χρόνια. Επίσης έχουν την ιδιότητα να συνεργάζονται ώστε να εκτελούν καταναεμημένη ανίχνευση και να υπερπηδούν εμπόδια όπως βράχια και δέντρα, που παρεμποδίζουν το πεδίο ανίχνευσης. Τα δίκτυα όντας εφοδιασμένα με κόμβους εξοπλισμένους με αισθητήρες μπορούν να ανιχνεύσουν τυχών υψηλές θερμοκρασίες, τα επίπεδα υγρασίας της δασικής έκτασης όπως επίσης και τα πιθανά αέρια σωματίδια που προέρχονται από την καύση δέντρων ή ποών. Διττή είναι η σημασία της γρήγορης αντίληψης εκδήλωσης πυρκαγιάς. Αφενός ο βαθμός επιτυχίας του πυροσβεστικού σώματος αυξάνεται, αφετέρου μεγιστοποιείται η γνώση του ίδιου για την αρχή και εξαπλωση των πυρκαγιών.[17].

#### **3.1.2.4 Ανίχνευση κατολισθήσεων**

Η ανίχνευση των κατολισθήσεων γίνεται επίσης χάρη στην αρωγή ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Με τη βοήθεια των αισθητήρων αυτών πιθανές εδαφικές κινήσεις και μεταβολές γίνονται εύκολα αντιληπτές. Παράλληλα είμαστε ικανοί να γνωρίζουμε εκ των προτέρων αλλαγές των πιθανών παραμέτρων που σχετίζονται με την προϊστορία και το γεγονός της κατολίσθησης.

#### **3.1.3 Παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα**

Απαραίτητη προϋπόθεση για την αποφυγή οποιασδήποτε ζημίας που οφείλεται στην ατμοσφαιρική ρύπανση με σκοπό την προστασία τόσο του ανθρώπου όσο και του περιβάλλοντος είναι η μέτρηση του βαθμού ρύπανσης του αέρα. Σε επικίνδυνο περιβάλλον, η παρακολούθηση των επιβλαβών αερίων είναι μια ανησυχητική διαδικασία γιατί ο καιρός μπορεί να αλλάξει με σοβαρές επιπτώσεις με άμεσο τρόπο. Παρόλα ταύτα τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων προσφέρουν σημαντικές λύσεις στους ανθρώπους.

- **Εσωτερικός έλεγχος**

Με τη χρήση σύγχρονου εξοπλισμού ο οποίος ικανοποιεί τους βιομηχανικούς κανονισμούς, επιτυγχάνεται η παρακολούθηση των επιπέδων του φυσικού αερίου σε ευάλωτες περιοχές και η συνεχή ενημέρωση μεγάλων περιοχών, καθώς και η εξασφάλιση της ακριβούς συγκέντρωσης αερίου.

- **Εξωτερικός έλεγχος**

Προαπαιτούμενα για τον εξωτερικό έλεγχο της ποιότητας του αέρα αποτελούν η καλή ποιότητα ασύρματων αισθητήρων, η αντοχή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες (βροχή, άνεμος), όπως επίσης και τρόποι κατάλληλοι για τον περιορισμό κατασπατάλησης απαραίτητης ενέργειας, διότι η δύσκολη πρόσβαση στο μηχανήμα συνήθως απαιτεί μεγάλα ποσά ενέργειας τα οποία είναι απαραίτητα να εξασφαλιστούν.

### **3.1.4 Παρακολούθηση της ρύπανσης του αέρα**

Η συγκέντρωση βλαβερών αερίων για τον άνθρωπο παρακολουθείται, ώστε να περιορίζεται, από αισθητήρες ασύρματων δικτύων σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Θετική έκβαση για τα ασύρματα δίκτυα δύνανται να επιφέρουν οι ασύρματες ζεύξεις ad-hoc και σε μικρότερο βαθμό οι ενσύρματες εγκαταστάσεις χάρη στις οποίες τα δίκτυα καθίστανται πιο ευέλικτα σε περίπτωση δοκιμαστικών μετρήσεων ανά περιοχή. [17].

### **3.1.5 Παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων**

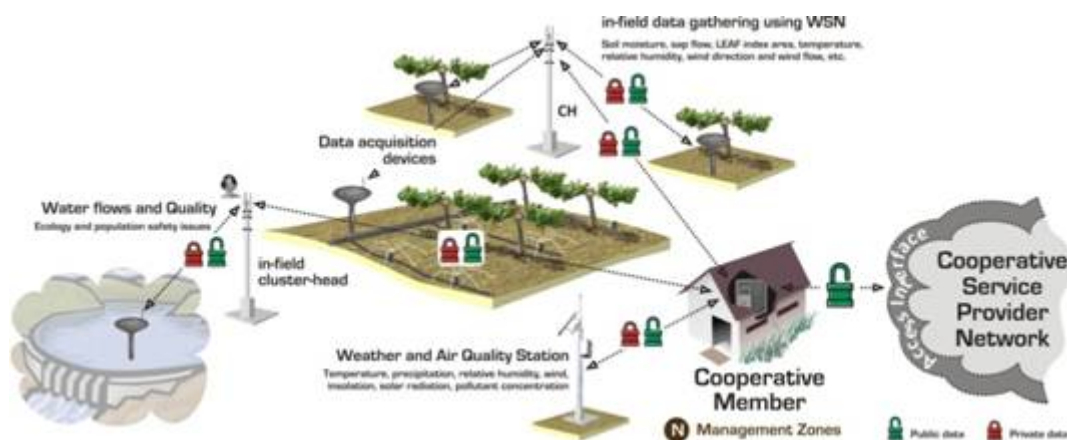
Με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων επιτυγχάνεται η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού η οποία περιλαμβάνει την ανάλυση των ιδιοτήτων του νερού σε φράγματα, ποτάμια, λίμνες και ωκεανούς, καθώς και τα υπόγεια αποθέματα νερού. Στην περίπτωση των υδάτων γίνεται χρήση πλήθους ασύρματων αισθητήρων με τους οποίους εξασφαλίζεται αποτελεσματικότερη και περισσότερο εμπειριστατωμένη γνώμη και γνώση γύρω από την κατάσταση τους. Ως τροχοπέδη επιτρέπεται η μόνιμη εγκατάσταση σταθμών παρακολούθησης σε δύσβατες περιοχές .

### **3.1.6 Παρακολούθηση νερού/αποβλήτων υδάτων**

Όσον αφορά το ζήτημα της παρακολούθησης της ποιότητας και του επιπέδου του νερού, δεν μιλάμε για κάτι ιδιαίτερα απλό. Η παρακολούθηση αυτή διακλαδίζεται σε πολλούς τομείς οι οποίοι ξεκινούν από τον έλεγχο της ποιότητας των υδάτων σε επίπεδο υπογείου και επιφάνειας και φτάνουν μέχρι την εξασφάλιση αναγκαίων και επαρκών υποδομών ύδρευσης της χώρας, προς όφελος ανθρώπων και ζώων.

- Παρατήρηση της ποιότητας των υδάτων
- Διαχείριση του δικτύου διανομής των υδάτων
- Πρόληψη των φυσικών καταστροφών

### 3.1.7 Γεωργία



Εικόνα 24: Χρήση αισθητήρων στη γεωργία

Στον αγροτικό τομέα χρησιμοποιούνται ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ολοένα και περισσότερο. Τα δίκτυα αυτά απαλλάσσουν τον αγρότη από την άσκοπη καλωδίωση σε δύσβατες περιοχές και ακόμη συστήματα νερού, τροφοδοσίας, βαρύτητας, μπορούν να ελέγχονται παράλληλα με τη χρήση πομπών πίεσης, οι οποίοι παρακολουθούν τα επίπεδα δεξαμενής νερού. Έτσι η άρδευση με τον αυτοματοποιημένο αυτό τρόπο γίνεται αποτελεσματικότερη και η παραγωγή αποβλήτων ελαχιστοποιείται.

- **Ακριβής γεωργία**

Χάρη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι αγρότες δύνανται να ελέγχουν καθ' όλη τη διάρκεια τον τρόπο αλλά και γενικότερα την ανάπτυξη των αγαθών που καλλιεργούν. Το γεγονός αυτό μονάχα θετική έκβαση θα μπορούσε να έχει αφού γνωρίζοντας όλα τα στάδια ανάπτυξης της σοδιάς, ο αγρότης είναι σε θέση να πάρει και την κατάλληλη απόφαση για τον χρόνο της συγκομιδής.

- **Διαχείριση της άρδευσης**

Με τη χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων ο αγρότης παρακολουθώντας τα διάφορα δεδομένα σε πραγματικούς χρόνους είναι σε θέση να επιτύχει « έξυπνη» άρδευση. Και αυτό γιατί με τη βοήθεια των αισθητήρων δεν έχει απλώς μια γενική εικόνα των συνθηκών (βλ. θερμοκρασία, επίπεδο υγρασίας του εδάφους) που επικρατούν στο πεδίο όπου εδράζεται, αλλά έχει τη δυνατότητα να παρακολουθηθεί (έχοντας εννοείται συνδέσει) κάθε φυτό με ένα προσωπικό σύστημα άρδευσης. με τον τρόπο αυτό ο αγρότης είναι σε θέση να παράσχει την κατάλληλη ποσότητα νερού στο κάθε φυτό. Στην περίπτωση αυτή το πλεονέκτημα είναι διπλό: πρώτον μείωση του κόστους παραγωγής και δεύτερον καλύτερη ποιότητα του παραγόμενου αγαθού. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των διαφόρων ενεργοποιητών στα συστήματα αποφεύγοντας την ενσύρματη υποδομή.



- **Θερμοκήπια**

Αξιοσημείωτη θα μπορούσε να καταστεί επίσης η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων στα εμπορικά θερμοκήπια για τον έλεγχο των επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας. Τα όρια γύρω από τα επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας σε ένα θερμοκήπιο είναι ιδιαίτερος στενά. Όταν τα όρια αυτά ξεπεραστούν είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω θα ήταν χρήσιμο ο ιδιοκτήτης ή ο εκάστοτε διαχειριστής της συγκεκριμένης μονάδας να ειδοποιείται μέσω μηνύματος ηλεκτρονικού ταχυδρομείου ή ακόμα και μέσω μηνύματος κείμενου στο προσωπικό του κινητό. Επιπλέον θα ήταν χρήσιμο τα συστήματα υποδοχής να ενεργοποιούν αυτόματα σε τέτοιες περιπτώσεις τους απαραίτητους και κατάλληλους μηχανισμούς (λ.χ. τα συστήματα υδρονέφωσης, να ανοίξουν τους αεραγωγούς, ενεργοποίηση των περσίδων, ή να ελέγξουν μια ευρεία ποικιλία αντιδράσεων του συστήματος). Όπως προκύπτει από έρευνες γύρω από το θέμα τέτοιων δικτύων, ο άνθρωπος ενδιαφέρεται μεν για ανάπτυξη στα επίπεδα αγροτικού χώρου, το ενδιαφέρον όμως αυτό περιορίζεται σε συγκεκριμένες καλλιέργειες οι οποίες καθόλου τυχαία είναι ιδιαίτερα προσοδοφόρες. Αξίζει να προσθέσουμε ότι η χρήση πολλαπλών καταναμημένων φέρει καλύτερα αποτελέσματα σε ανοικτή επιφάνεια, καθώς και στο έδαφος.[17].

### **3.2 Βιομηχανικές Εφαρμογές**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στις βιομηχανικές εφαρμογές, οι οποίες συμβάλλουν στην ορθή λειτουργία της παραγωγής και την ασφάλεια του προσωπικού. Ορισμένες φορές το περιβάλλον στο οποίο λαμβάνει χώρα μια διεργασία χρήζει προσοχής λόγω της επικινδυνότητας που μπορεί να κρύβει ή λόγω της θέσης που θα βρίσκεται (λ.χ. στο εσωτερικό των μηχανών). Για το λόγο αυτό, οι αισθητήρες ελέγχουν την κατάσταση της μηχανής ώστε να προσδιορίζουν τα επίπεδα λίπανσης ή την ένταση της δόνησής της καθώς και να εισάγονται σε δύσβατες περιοχές.

Αξιοσημείωτο είναι το ότι τα WSNs έχουν κυρίαρχο ρόλο σε υπόγειες παραγωγικές διαδικασίες, οι οποίες, διακρίνονται για τον δύσκολο χειρισμό τους. Με την πάροδο του χρόνου την θέση των ενσύρματων δικτύων έρχονται να καλύψουν τα WSNs τόσο στην επιτήρηση των μηχανών, όσο και στην προληπτική συντήρηση.[17].

#### **3.2.1. Βιομηχανική λογική και έλεγχος των αιτήσεων**

Γνωρίζουμε ότι ο αριθμός των πρωτοκόλλων επικοινωνίας ασύρματων δικτύων αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί είναι αρκετά σημαντικός. Παλαιότερα το ενδιαφέρον ήταν στραμμένο περισσότερο γύρω από το θέμα της ενέργειας ενώ σήμερα έχει διευρυνθεί, περικλείοντας πλήθος θεμάτων όπως λόγου χάρη ο βαθμός αξιοπιστίας ασύρματων συνδέσεων και οι δυνατότητες αυτών σε πραγματικό χρόνο και δεδομένα αλλά και η ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών. Με τη βοήθεια των νέων ερευνών και των στοιχείων που προέκυψαν από αυτές θα είμαστε σε θέση στο μέλλον για βελτιστοποίηση εφαρμογών του βιομηχανικού τομέα, για δημιουργία εφαρμογών παρακολούθησης σχετικών ασύρματων εννοιών και τέλος για μερική αντικατάσταση ή βελτιστοποίηση συμβατικών ενσύρματων δικτύων με τεχνικές WSN. [17].

### **3.3 Παθητικός εντοπισμός και παρακολούθηση**

Η εφαρμογή των WSN στο παθητικό εντοπισμό και την παρακολούθηση των μη συνεργάσιμων στόχων έχει προταθεί από τη διάχυτη αξιοποίηση χαμηλού κόστους φύσης της εν λόγω τεχνολογίας και τις ιδιότητες των ασύρματων ζεύξεων που είναι εγκατεστημένα σε ένα δίκτυο υποδομής WSN.

### 3.4 Οικιακές Εφαρμογές

Από τις εφαρμογές δεν θα μπορούσαν να εκλείψουν οι οικιστικές εφαρμογές οι οποίες φαίνονται παρακάτω:

- Αυτοματισμός σπιτιού
- Έξυπνο περιβάλλον

Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά στις παραπάνω εφαρμογές:

**Αυτοματισμός σπιτιού** : ‘έξυπνοι’ αισθητήριοι κόμβοι ενσωματώνονται σε οικιακές συσκευές λόγω χάρη ηλεκτρικές σκούπες, φούρνοι μικροκυμάτων, ψυγεία και βίντεο. Οι παραπάνω κόμβοι έχουν την ιδιότητα να ασκούν επιρροή ο ένας στον άλλον αλλά και σε ένα εξωτερικό δίκτυο (μέσω του Διαδικτύου ή ενός δορυφόρου). Με την χρήση των αισθητήριων κόμβων οι χρήστες έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν συσκευές τους όπου και αν βρίσκονται (τοπικά – απομακρυσμένα).

**Έξυπνο περιβάλλον** : η δημιουργία ενός ‘έξυπνου’ ‘περιβάλλοντος’ διαχωρίζεται σε:

- Η ανθρωποκεντρική στην οποία ένα έξυπνο περιβάλλον έχει την ικανότητα να εναρμονίζεται με τις ανάγκες των χρηστών σε ότι αφορά την εισόδου και εξόδου.
- Η τεχνοκεντρική στην οποία ένα έξυπνο περιβάλλον λαμβάνει χώρα στις νέες τεχνολογίες υλικού, δικτυακές λύσεις και ενδιάμεσες συσκευές οι οποίες θα αναπτυχθούν. Στη συγκεκριμένη προσέγγιση, οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν την ιδιότητα να εισάγονται στην επίπλωση και σε οικιακές συσκευές για την ευκολότερη επικοινωνία του μεταξύ τους όσο και με τον εξυπηρετητή του δωματίου. Ο εξυπηρετητής με τη σειρά του έχει την ιδιότητα να επικοινωνεί με εξυπηρετητές άλλων δωματίων.

### 3.4.1 Παρακολούθηση έξυπνου σπιτιού



Εικόνα 25: Έξυπνο σπίτι

Στην περίπτωση των « έξυπνων » σπιτιών γίνεται χρήση ασύρματων αισθητήρων σε μεμονωμένα αντικείμενα καθημερινής και ευρείας χρήσης. Με τον τρόπο αυτό παρακολουθούνται οι όποιες δραστηριότητες του χώρου, μέσω επίσης παρακολούθησης των μεταβολών που υφίστανται τα αντικείμενα αυτά και οι οποίες οφείλονται σε ανθρώπινη χειραγώγηση. [17][18]

### 3.5 Υποβρύχιες Εφαρμογές

Μια ιδιαίτερα ξεχωριστή κατηγορία δικτύων αισθητήρων αποτελούν τα υποβρύχια δίκτυα. Τα εν λόγω δίκτυα παίζουν κυρίαρχο ρόλο τόσο σε επιστημονικές όσο και στρατιωτικές εφαρμογές. Ο αριθμός των αισθητήρων και των οχημάτων σε αυτή την κατηγορία δικτύων δεν είναι συγκεκριμένος, αλλά αλλάζει ανά εφαρμογή. Ο βασικός τους ρόλος είναι η ανίχνευση κίνησης στο βυθό. Στα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος ο αποκαλούμενος ‘ master node’ ο οποίος έχει ως βασικό του μέλημα την μεταφορά, τη συλλογή και τον έλεγχο των υπολοίπων κόμβων στη ακτή. Η κίνηση του δικτύου χαρακτηρίζεται από ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων, απομακρυσμένη εποπτεία του δικτύου και έλεγχο ωκεανογραφικών αισθητήρων. Σημαντικό πλεονέκτημα των υποβρύχιων δικτύων αισθητήρων αποτελεί η εύκολη ανάπτυξη τους αφού είναι ανθεκτικό στις παρεμβολές πλοίων καθώς και δεν αποτελούνται από καλώδια. Ορισμένες από τις εφαρμογές της ιδιαίτερης κατηγορίας των υποβρύχιων συστημάτων αναγράφονται παρακάτω:

- η ανάπτυξη κατάλληλων συστημάτων επιτήρησης.
- η ανίχνευση υποβρύχιων στόχων.
- η προώθηση κρίσιμων πληροφοριών.
- Η συλλογή ωκεανογραφικών δεδομένων.
- Η εκμετάλλευση υπογείων κοιτασμάτων.
- Η παρεμπόδιση καταστροφών από σεισμική δραστηριότητα.
- Η εμφάνιση τσουνάμι.

Εν συγκρίσει με τα ραδιοφωνικά κύματα στα υποβρύχια ο ήχος διαδίδεται ευκολότερα στο νερό. Συμπερασματικά προκύπτει λοιπόν ότι ο ήχος μεταδίδεται πιο εύκολα κατά την υποβρύχια επικοινωνία, λόγω του οι υποβρύχιοι αισθητήρες χρησιμοποιούν ακουστικά μόντεμ για την επικοινωνία τους. Δεν παύει να υπάρχουν και αρνητικά σημεία στην υποβρύχια επικοινωνία. Μερικά από αυτά είναι:

- Η μεγάλη χρονική καθυστέρηση.
- Η μικρή ταχύτητα μετάδοσης.
- Ο μεγάλος θόρυβος λόγω της υποβρύχιας επικοινωνίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής δικτύων αισθητήρων υπήρξε το SOSUS το οποίο χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου, για την ανίχνευση και τον εντοπισμό Σοβιετικών υποβρυχίων με τη βοήθεια ειδικών ακουστικών αισθητήρων. Κατέχει σημαντική θέση ακόμη και σήμερα κυρίως στην παρακολούθηση διάφορων φαινομένων λόγω χάρη σεισμικές δραστηριότητες, παρακολούθηση φαλαινών κλπ.[19].

## 3.6 Στην υγεία

### 3.6.1 Αισθητήρες σε χρόνια πάσχοντες



**Εικόνα 26: Αισθητήρες σε χρόνια πάσχοντες**

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων φαίνονται χρήσιμα και σε έναν ακόμα ιδιαίτερα σημαντικό τομέα αν όχι τον πιο σημαντικό ο οποίος δεν είναι άλλος από τον τομέα της ιατρικής. Οι εφαρμογές τέτοιων δικτύων δύνανται να επωφεληθούν όχι μόνο τους παροδικά ασθενείς, αλλά ακόμη και τους χρόνια πάσχοντες ( βλ. διαβητικούς ή άτομα με προβλήματα όρασης) και αυτό μπορεί να καταστεί δυνατό με τη χρήση ή ειδικότερα με την εισαγωγή μικροσκοπικών αισθητήρων (αξίζει να αναφερθεί ότι ακόμη βρίσκονται σε πειραματικό εν μέρει στάδιο, διότι γίνονται συνεχείς προσπάθειες για την τελειοποίησή τους) στο σώμα του ασθενούς. Μέσω αυτής

της εισαγωγής αισθητήρων οι θεράποντες ιατροί μπορούν ανά πάσα στιγμή να επιτηρούν τους ασθενείς τους (χωρίς οι ίδιοι να παραβρίσκονται ενώπιον του γιατρού) και να επεμβαίνουν άμεσα σε περιπτώσεις ανάγκης. [20].

### 3.6.2 Πλεονεκτήματα αισθητήρων

Αξιοσημείωτο είναι το ιδιαίτερα μικροσκοπικό μέγεθος των αισθητήρων το οποίο είναι έτσι διαμορφωμένο ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες των πασχόντων (λ.χ. τη διαρκή χρήση τους από τους πάσχοντες).

Ένας από τους μελλοντικούς στόχους είναι η ελαχιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από τους αισθητήρες, ώστε η αλλαγή μπαταριών να γίνεται λιγότερο τακτική αλλά και ένας ακόμη, η 'κινητική' επαναφόρτιση. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές στο δίκτυο σώμα είναι σε θέση να επικοινωνούν μεταξύ τους.

Απαραίτητο είναι να αναφέρουμε ότι όλοι οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι σε έναν κόμβο στο δίκτυο οργανισμό ο οποίος έχει οριστεί ως η πύλη του δικτύου. Λόγω των περιορισμών σε ενέργεια, οι κόμβοι του δικτύου έχουν μικρές δυνατότητες επεξεργασίας και αποθήκευσης. [21]

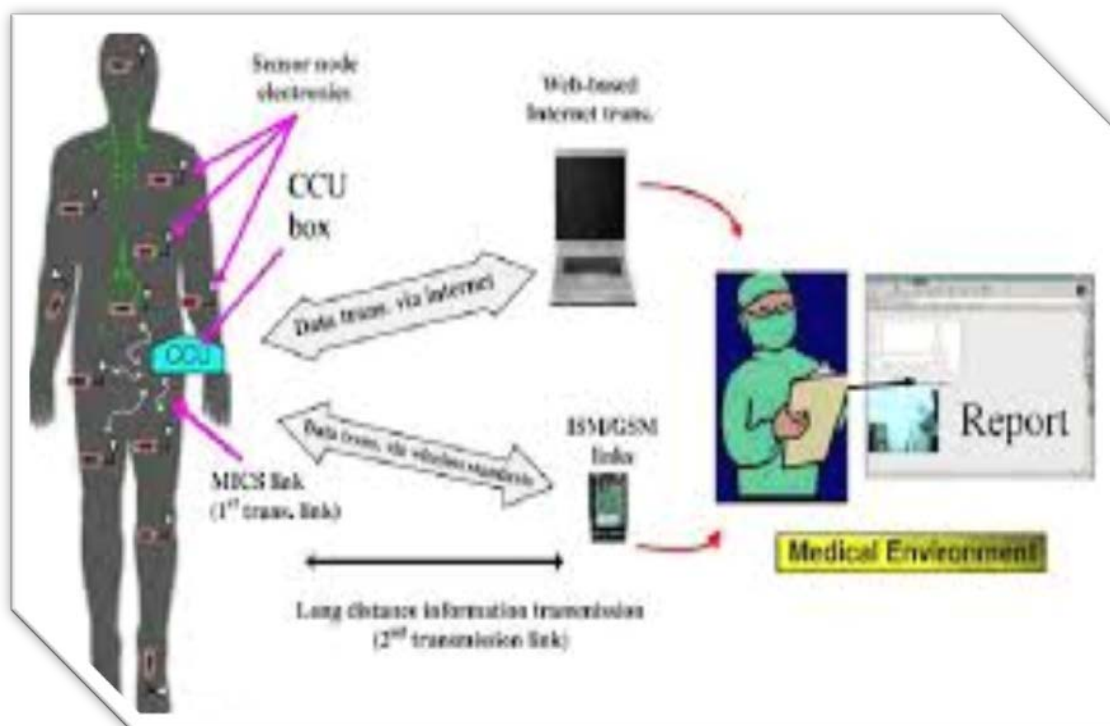
### 3.6.3 Η χρησιμότητα των ασύρματων αισθητήρων

Όπως προαναφέρθηκε η χρήση ασύρματων αισθητήρων επιτρέπει την απομακρυσμένη, κατ' οίκον παρακολούθηση σε περιπτώσεις χρόνιων παθήσεων ή ηλικιωμένων. Η υγεία του ασθενούς παρακολουθείται από συσκευές μικρού μεγέθους εύκολές στη μεταφορά ή ακόμη και στο να φορεθούν από τον ασθενή. Στην περίπτωση όπου εκδηλώνεται κάποιο ανησυχητικό σύμπτωμα οι συσκευές είναι σε θέση να ειδοποιήσουν τους συγγενείς, το γιατρό ή το νοσοκομείο του ασθενούς. Πρόκειται για μια ιδιαίτερα καινοτόμα ιδέα αν και δε διακατέχεται μονάχα από θετικά, αλλά και από αρνητικά στοιχεία. Ορισμένα από αυτά είναι η ασφάλεια και η αξιοπιστία του συστήματος, η ελαχιστοποίηση της συντήρησης, η μείωση της κατανάλωσης και η αξιοποίηση της ανθρώπινης ενέργειας (θερμότητα) για παροχή ενέργειας στους αισθητήρες. [22].

### 3.6.4 Αισθητήρες στην καταπολέμηση όγκων

Βασικό είναι να αναφέρουμε ότι οι ασύρματοι αισθητήρες παίζουν σημαντικό ρόλο στην καταπολέμηση όγκων. Αναλυτικότερα ο αισθητήρας τοποθετείται με τη διαδικασία της εμφύτευσης κοντά σε έναν όγκο και μετρά τη συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου σε κοντινό υγρό ιστού. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί μείωση μπορεί να υποδεικνύει επιθετική ανάπτυξη του όγκου και οι γιατροί πρέπει να είναι σε επαγρύπνηση. Τα στοιχεία μεταδίδονται σε εξωτερικό δέκτη (ο οποίος μοιάζει με μικρό κουτί). Από τον εξωτερικό δέκτη τα στοιχεία κατευθύνονται στο γραφείο του γιατρού ο οποίος κοιτάζοντας τα μπορεί να αποφανθεί αν η δραστηριότητα του όγκου επιδεινώνεται. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι συχνές επισκέψεις των ασθενών στο νοσοκομείο. Στα μελλοντικά σχέδια των γιατρών είναι η προσθήκη αντλίας στο μικροσίπ η οποία θα μπορεί να απελευθερώνει φάρμακα χημειοθεραπείας κοντά σε έναν όγκο αν χρειάζεται αγωγή. Βέβαια κάτι τέτοιο είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο για να αποκλειστεί κάθε πιθανότητα τοξικότητας για τους μελλοντικούς καρκινοπαθείς. [23]

### 3.6.5 Κατηγορίες αισθητήρων στην ιατρική



Εικόνα 27: Αισθητήρες στην ιατρική

Σύμφωνα με τα παραπάνω οι νοσηλευτές μπορούν να τοποθετήσουν στον ασθενή έναν αριθμό ασύρματων αισθητήρων, οι οποίοι θα συλλέγουν και εν συνεχεία θα μεταδίδουν πληροφορίες σχετικές με μετρήσεις ζωτικών οργάνων κατά την μεταφορά του προς το νοσοκομείο. Οι πληροφορίες αυτές θα λαμβάνονται από τους γιατρούς ακόμα και μέσω ενός P.D.A. Μελλοντικά ο γιατρός με τις πληροφορίες που θα έχει συγκεντρώσει για τον ασθενή, θα έχει τη δυνατότητα να έχει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την κατάσταση της υγείας του προτού ο ίδιος φθάσει στο νοσοκομείο. Ένα εκτενές σύνολο φυσικών αισθητήρων μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής:

- ένας αισθητήρας ECG (ηλεκτροκαρδιογραφήματος).
- ένας αισθητήρας EMG (ηλεκτρομυογράφημα) .
- ένας αισθητήρας EEG (ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος) .
- ένας αισθητήρας πίεσης αίματος.
- ένας αισθητήρας κλίσης .
- ένας αισθητήρας αναπνοής .
- αισθητήρες μετακίνησης . [24].

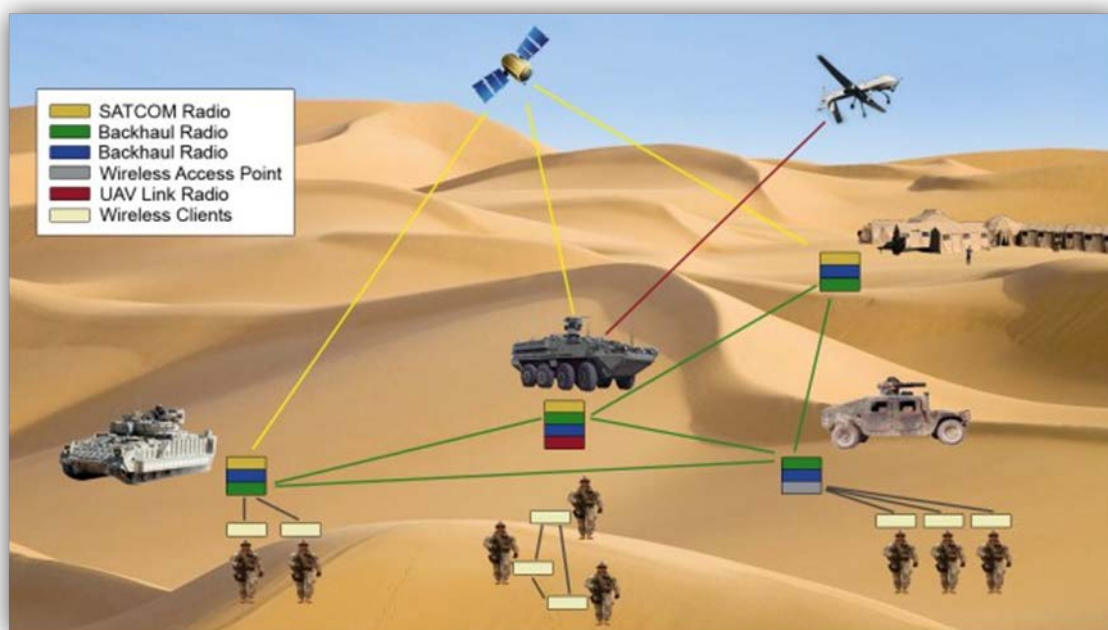
### 3.6.6 M-health και αισθητήρες

Σημαντικό θα είναι να αναφερθούμε και στη m-Health τεχνολογία, η οποία αντιπροσωπεύει την εξέλιξη των συστημάτων e-health.

Η παραπάνω τεχνολογία μπορεί να οριστεί απλά σαν η χρήση του Internet για ιατρική περίθαλψη σε κινητές εφαρμογές χωρίς εγγυημένη διαδίκτυακή συνδεσιμότητα. Η αξιοσημείωτη πρόοδος των m-Health συστημάτων οφείλονται στην ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών .

Στην ουσία έχουν την ιδιότητα να μοιράζονται τους ίδιους θεμελιώδεις σχεδιαστικούς στόχους ελαχιστοποίηση του βάρους και του μεγέθους των αισθητήρων που αποτελεί βασικό παράγοντα για την αποδοχή από τους χρήστες ελάχιστη ενόχληση, αδιάκοπη συνδεσιμότητα, αξιοπιστία και αρραγή και ενοποίηση συστήματος. Η παγκόσμια συνδεσιμότητα είναι σημαντική για τη βέλτιστη διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. [25].

### 3.7 Στρατιωτικές Εφαρμογές



Εικόνα 28: Στρατιωτικές εφαρμογές WSN

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων δεν θα μπορούσαν παρά να έχουν σημαντικό ρόλο και στις στρατιωτικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα αποτελούν ενσωματωμένο κομμάτι των στρατιωτικών συστημάτων διαταγών, ελέγχου, επικοινωνιών, υπολογισμού, ευφυΐας, παρακολούθησης, αναγνώρισης και στόχευσης. Η γρήγορη εγκατάσταση, η αυτό-οργάνωση και η ανθεκτικότητα, είναι μερικά από τα στοιχεία τα οποία διακρίνουν τα δίκτυα αισθητήρων και τα

κάνουν να αποτελούν ένα πολύ υποσχόμενο μέσο. Σε περίπτωση καταστροφής μερικών κόμβων από τον εχθρό δεν έχει επιπτώσεις στη στρατιωτική επιχείρηση εν αντιθέσει με τα παλιά παραδοσιακά δίκτυα. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ορισμένες από τις στρατιωτικές εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων:

- η παρακολούθηση των φιλικών δυνάμεων του εξοπλισμού και των πυρομαχικών τους.
- η παρακολούθηση του πεδίου της μάχης.
- η αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους.
- η στόχευση.
- η αποτίμηση των ζημιών της μάχης.
- η ανίχνευση και αναγνώριση μιας Ραδιοβιολογικής, Χημικής και Πυρηνικής (PBXII) απειλής.

Ακολουθεί μια αναλυτικότερη αναφορά των παραπάνω εφαρμογών:

**Παρακολούθηση του εξοπλισμού και των πυρομαχικών των στρατιωτικών δυνάμεων :** Τόσο οι ηγέτες όσο και οι διοικητές έχουν την ικανότητα με τη χρήση των WsN να ελέγχουν τα τμήματα τους καθώς και του εξοπλισμού και των πυρομαχικών τους. Κάθε στρατιώτης, όχημα, εξοπλισμός και κρίσιμο οπλικό σύστημα μπορεί να εξοπλιστεί με αισθητήρες που θα αναφέρουν την κατάσταση του. Μπορούμε να προσθέσουμε ότι οι πληροφορίες/δεδομένα συγκεντρώνονται σε κεντρικούς κόμβους και προωθούνται προς τους διοικητές των τμημάτων ή ακόμη και σε μεγαλύτερα ιεραρχικά κλιμάκια.

**Παρακολούθηση του πεδίου της μάχης :** Δίκτυα αισθητήρων μπορούν να καλύψουν κρίσιμα εδάφη, δρομολόγια προσέγγισης, μονοπάτια και στενωποί ώστε να ελέγχονται για να αποφευχθούν οι εχθρικές δραστηριότητες. Και κάθε φορά με την εξέλιξη των επιχειρήσεων θα οργανώνονται και νέα επιχειρησιακά σχέδια ανάλογα με τις νέες ανάγκες.

**Αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους :** Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να εγκατασταθούν σε κρίσιμα εδάφη και να συγκεντρώνουν έγκαιρα πολύτιμες και λεπτομερείς πληροφορίες για τις εχθρικές δυνάμεις και το έδαφος σε ελάχιστα λεπτά, προτού οι εχθρικές δυνάμεις να μπορέσουν να αναχαιτίσουν τα δίκτυα.

**Στόχευση :** Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να εμφυτευτούν σε συστήματα πλοήγησης των έξυπνων πυρομαχικών.

**Εκτίμηση των ζημιών μάχης :** Δίκτυα αισθητήρων μπορούν να εγκατασταθούν στην περιοχή του στόχου ή των στόχων για να συγκεντρώνουν πληροφορίες προκειμένου να γίνει εκτίμηση των ζημιών πριν ή μετά από κάποια επίθεση.

**Ανίχνευση και αναγνώριση PBXII :** Στον PBXII πόλεμο, όταν είσαι κοντά στο σημείο μηδέν είναι σημαντικό να διαθέτεις ακριβή και έγκαιρη πληροφορία για την ύπαρξη μόλυνσης. Τα δίκτυα αισθητήρων τα οποία εγκαθίστανται σε ουδέτερο έδαφος και χρησιμοποιούνται σαν συστήματα αναγνώρισης και προειδοποίηση PBXII ουσιών, μπορούν να παρέχουν στις δυνάμεις κρίσιμο χρόνο για να αντιδράσουν, και να μειώσουν δραστικά τις απώλειες. Τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση μιας περιοχής που προσβλήθηκε από PBXII επίθεση χωρίς να είναι αναγκαίο να εκτεθεί μια ομάδα ανίχνευσης στην ραδιενέργεια. [26].

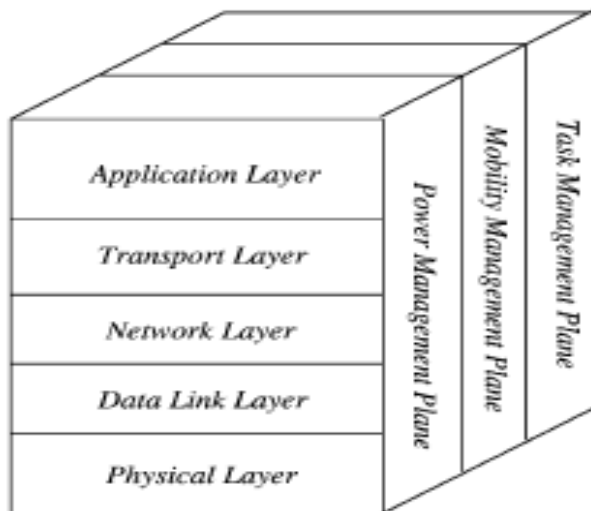


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

#### 4.1 Εισαγωγή

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε ένα δίκτυο με ασύρματους κόμβους υπάρχει ένα κεντρικό σημείο στο οποίο καταλήγουν όλα τα δεδομένα τα οποία αρχικά θα υποστούν επεξεργασία από τους υπόλοιπους. Τόσο το κεντρικό όσο και κάθε άλλο σημείο χρησιμοποιούν την παρακάτω στοίβα πρωτοκόλλου.



Εικόνα 29: Στοίβα πρωτοκόλλου

Η προαναφερθείσα στοίβα αποτελείται από τα παρακάτω επίπεδα:

- ο Φυσικό
- ο Ζεύξης δεδομένων
- ο Δικτύου
- ο Μεταφοράς
- ο Εφαρμογής
- ο καθώς και από τα κάτωθι επίπεδα διαχείρισης (management planes) ενέργειας, κινήσεως και στόχου.

Τα τρία τελευταία επίπεδα διαχείρισης βοηθούν τους αισθητήριους κόμβους να συνεργαστούν καλύτερα ο ένας με τον άλλο προκειμένου να φέρουν εις πέρας τον σκοπό για τον οποίο εγκαταστάθηκαν καταναλώνοντας όσο το δυνατόν λιγότερη ενέργεια. Τα υπόλοιπα επίπεδα λειτουργούν ανάλογα με αυτά του προτύπου OSI.

## 4.2 Φυσικό επίπεδο

Το επίπεδο που βρίσκεται στο χαμηλότερο σκαλοπάτι της στοιβάς είναι το φυσικό επίπεδο. Το προαναφερθέν έχει ως κύριο ρόλο:

- τη δημιουργία του φέροντος
- την επιλογή της συχνότητας
- τη διαμόρφωση δεδομένων
- την κρυπτογράφηση δεδομένων.

Αξίζει να αναφέρουμε ότι στο σχεδιασμό του παραπάνω επιπέδου εξέχουσα θέση κατέχει η ενέργεια που καταναλώνεται στην επικοινωνία. Η εξοικονόμηση της οποίας επιτυγχάνεται με την πυκνή χωρικά ανάπτυξη των αισθητήρων και τη δυνατότητα επικοινωνίας. Παρατηρούνται απώλειες σήματος, κάτι που συνεπάγεται μικρότερη εκπεμπόμενη ενέργεια. Παρόλα αυτά με τη χρήση μιας ευρείας συχνότητας επιλύονται τόσο οι απώλειες, όσο και η εξοικονόμηση της ενέργειας

## 4.3 Επίπεδο ζεύξης δεδομένων

Το επόμενο επίπεδο που συναντάμε είναι το ζεύξης δεδομένων. Το παραπάνω επίπεδο έχει ως βασικό του μέλημα:

- την πολυπλεξία των δεδομένων
- την ανίχνευση των πλαισίων δεδομένων
- την πρόσβαση στο μέσο
- τον έλεγχο λαθών.

Το επίπεδο ζεύξης δεδομένων είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία ενός δικτύου που θα παρέχει επικοινωνία από σημείο προς σημείο και το διαμοιρασμό της μετάδοσης ισότιμα και αποτελεσματικά μεταξύ των αισθητήριων κόμβων. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι τα σημερινά πρωτόκολλα ζεύξης ενδιαφέρονται κατά κύριο λόγο στην παροχή αδιαφορώντας για την καταναλισκόμενη ενέργεια, κάτι που τα καθιστά ανεπαρκή. Μερικά προτεινόμενα πρωτόκολλα του επιπέδου ζεύξης είναι:

### 4.3.1 SMACS και ο αλγόριθμος EAR

Υπεύθυνο για την έναρξη του δικτύου καθώς και την οργάνωση του επιπέδου ζεύξης δεδομένων είναι το πρωτόκολλο SMACS **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.** καθώς και ο αλγόριθμος EAR ο οποίος σχετίζεται με την ορθή σύνδεση των ασύρματων κόμβων στο δίκτυο αισθητήρων. Αξίζει να αναφέρουμε ότι στο SMACS δεν υπάρχει κεντρικός κόμβος και παρέχει την ιδιότητα στους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου να προγραμματίσουν χρονικά την εκπομπή και την λήψη. Σε αυτό το πρωτόκολλο, η ανακάλυψη των γειτόνων και η

ανάθεση των φάσεων του καναλιού συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε μόλις γνωστοποιηθούν οι γειτονικοί κόμβοι έτσι θα έχει δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο δίκτυο. Ένας επικοινωνιακός δεσμός αποτελείται από ένα ζευγάρι χρονοθυρίδων που λειτουργούν με την τυχαία επιλογή συχνότητας (σταθερής ή με αναπηδήσεις). Αυτό είναι εφικτό αφού το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων είναι πολύ μεγαλύτερο από τον αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης. Με αυτόν τον τρόπο συντονίζονται μόνο οι κόμβοι οι οποίοι επικοινωνούν. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός τυχαίου προγράμματος ξυπνήματος κατά τη φάση της σύνδεσης και με κλείσιμο του πομποδέκτη κατά την φάση των κενών χρονοθυρίδων. Το πρωτόκολλο EAR έχει την ικανότητα παροχής υπηρεσιών στους κόμβους ανεξάρτητα από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται (βλ. κίνηση, σταθερότητα). Το προαναφερθέν πρότυπο παρέχει διαφάνεια στο SMACS, δίνοντας του τη δυνατότητα να είναι λειτουργικό μέχρις ότου εισαχθούν οι κινούμενοι κόμβοι στο δίκτυο. Χαρακτηριστικό μειονέκτημα ενός τέτοιου δικτύου είναι ότι κόμβοι που ανήκουν σε διαφορετικά υποδίκτυα μπορεί να μην συνδεθούν ποτέ.

#### 4.3.2 Μέσο πρόσβασης βασισμένο στο CSMA

Αξίζει να αναφέρουμε ότι τα σημερινά πρωτόκολλα που βασίζονται στο CSMA για πρόσβαση στο μέσο δεν είναι κατάλληλα για τα δίκτυα αισθητήρων, για το λόγο ότι οφείλουν να υποστηρίζουν μεταβλητή και περιοδική κίνηση. Πρωτόκολλα που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία διακρίνονται για:

- το μηχανισμό παρακολούθησης του μέσου (listening mechanism)
- το σχήμα οπισθοχώρησης.

Δεν μπορούμε να παραλείψουμε ότι οι συνεχείς περίοδοι παρακολούθησης του μέσου είναι αποτελεσματικές ενεργειακά και η εισαγωγή των τυχαίων καθυστερήσεων μειώνει την πιθανότητα ύπαρξης συνεχών συγκρούσεων κάτι που έχει αποδειχτεί μέσω προσομοιώσεων. Ο κάθε κόμβος αποστέλλει τα δικά του δεδομένα αλλά λειτουργεί και σαν δρομολογητής για τα δεδομένα των γειτονικών του κόμβων, ώστε να ελέγχεται ο ρυθμός των δεδομένων που αποστέλλεται για να επιτρέπεται η μετάδοση των διερχόμενων δεδομένων. Γίνεται σημαντική προσπάθεια ώστε να επιλυθεί το πρόβλημα των κρυμμένων κόμβων με το συνεχές συντονισμό των ρυθμών εκπομπής και με την εκτέλεση αλλαγών στην φάση, ώστε να αποφευχθούν οι συνεχείς συγκρούσεις των περιοδικών κυμάτων δεδομένων.

#### 4.3.3 Υβριδικός τρόπος πρόσβασης βασισμένος στο TDMA/FDMA

Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι διεξάγεται έρευνα για την ύπαρξη μη ιδεατών ηλεκτρονικών του φυσικού επιπέδου στην δημιουργία του προτύπου πρόσβασης στο μέσο. Το αναφερόμενο σύστημα πιθανολογείται ότι αποτελείται από περιορισμένους ενεργειακά αισθητήριους κόμβους που επικοινωνούν με ένα κεντρικό σταθμό βάσης. Σύμφωνα με αυτό το υβριδικό TDMA/FDMA τρόπο πρόσβασης ανακαλύπτεται κάθε φορά ο αριθμός των καναλιών που θα εξυπηρετηθούν από FDMA ή TDMA και αποδεικνύεται ότι η καλύτερη αναλογία εξαρτάται από τον λόγο της καταναλισκόμενης ενέργειας στον πομπό και τον δέκτη. Σε περίπτωση χρήσης μεγάλης ποσότητας ενέργειας από τον πομπό προτιμάται η τεχνική TDMA διαφορετικά προτιμάται η FDMA.



Ακολουθεί ένας συγκριτικός πίνακας πρωτοκόλλων του MAC επιπέδου για δίκτυα αισθητήρων:

| Πρωτόκολλο MAC          | Μέθοδος πρόσβασης στο μέσο                                  | Χαρακτηριστικά δικτύου αισθητήρων   | Διατήρηση ενέργειας   |
|-------------------------|---|---|---|
| <b>SMACS and EAR 0</b>  | Σταθερή εκχώρηση duplex χρονοθυρίδων σε σταθερή συχνότητα   | Εκμετάλλευση μεγάλου μέρους του διαθέσιμου εύρους συχνοτήτων σε σχέση με το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων των δικτύων αισθητήρων. | Τυχαίες ενεργοποιήσεις κατά την φάση της εκκίνησης και απενεργοποίηση του πομποδέκτη στα αδρανή διαστήματα. |
| <b>Hybrid TDMA/FDMA</b> | Κεντρικός διαμοιρασμός χρόνου (TDMA) και συχνότητας (FDMA). | Βέλτιστος υπολογισμός αριθμού καναλιών για την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας.   | Προσέγγιση βασισμένη στο υλικό για την ελαχιστοποίηση κατανάλωσης ενέργειας.                                |
| <b>SMA based</b>        | Τυχαία πρόσβαση βασισμένη στον ανταγωνισμό.                 | Ολίσθηση φάσης και καθυστέρηση προ της εκπομπής από την εφαρμογή  | Συνεχής ακρόαση για αποτελεσματική διατήρηση της ενέργειας.   |

#### 4.4 Καταστάσεις λειτουργίας εξοικονόμησης ενέργειας

Όπως προαναφέραμε σημαντικός είναι ο ρόλος της εξοικονόμησης ενέργειας για κάθε πρωτόκολλο πρόσβασης στο μέσο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με απενεργοποίηση του πομποδέκτη όταν αυτός δεν είναι αναγκαίος. Βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ανέφικτο για το λόγο ότι οι αισθητήριοι κόμβοι ανταλλάσσουν μικρά μηνύματα, αλλά όχι σε κάθε χρονική στιγμή. Αν λόγω χάρη για κάποιο χρονικό διάστημα δεν έχουμε δραστηριότητα ανταλλαγής πακέτων και απενεργοποιήσουμε τον πομποδέκτη θα καταναλώνουμε περισσότερη ενέργεια λόγω της ανάγκης να τον ενεργοποιήσουμε ξανά, κάτι που είναι ασύμφορο οικονομικά. Άρα, απαιτείται ο εντοπισμός των καταστάσεων λειτουργίας ενός ασύρματου αισθητήρα που εξαρτώνται από τις καταστάσεις του μικρό-επεξεργαστή, της μνήμης, του ανάλογου ψηφιακού μετατροπέα και του πομποδέκτη. Κάθε μία από αυτές τις καταστάσεις χαρακτηρίζεται από την ενέργεια που καταναλώνει, καθώς και την ενέργεια που καταναλώνει για να μεταβεί από μια κατάσταση σε μία άλλη.

#### 4.5 Έλεγχος Λαθών

Υπάρχουν δύο κατηγορίες ελέγχου και διόρθωσης λαθών:

- Η αυτόματη αίτηση για επανάληψη (Automatic Repeat Request ARQ)
- Η διόρθωση των λαθών στον δέκτη (Forward Error Correction FEC).

#### 4.5.1 ARQ

Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε να αναφέρουμε ότι η μέθοδος ARQ χαρακτηρίζεται από το κόστος των επανεκπομπών και της μεγάλης επικεφαλίδας κάτι που καθιστά τη χρήση όχι και τόσο σημαντική. Συνεπώς τροχοπέδη αποτελεί ότι η χρήση του FEC είναι βέλτιστη επιλογή αφού τα μηνύματα που ανταλλάσσονται είναι μικρά και η κωδικοποίηση μικρή.

#### 4.5.2 FEC

Στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων σημαντική θέση κατέχει η φερεγγυότητα του καναλιού. Ένας τρόπος μέτρησης της είναι ο ρυθμός εμφάνισης λαθών στο κανάλι (Bit Error Rate BER). Το BER μπορεί να μειωθεί με δύο τρόπους:

- με την αύξηση της ισχύος στον πομπού
- με τη χρήση κατάλληλου κώδικα διόρθωσης λαθών.

Η δυνατότητα του κόμβου να εκτελεί επεξεργασία δεδομένων και αποκωδικοποίησης με μικρότερο κόστος σε ενέργεια από ότι η επανεκπομπή των ίδιων δεδομένων, καθιστά την μέθοδο ιδανική. Ασφαλώς πρέπει να υπολογιστεί και η ενέργεια η οποία καταναλώνεται κατά την επεξεργασία. [27] [28] [29] [30] [31] [32].

#### 4.6 Επίπεδο Δικτύου

Το επόμενο κατά σειρά επίπεδο είναι το επίπεδο δικτύου. Στο προαναφερθέν επίπεδο απαιτούνται ειδικά πρωτόκολλα δρομολόγησης ώστε η πληροφορία να φτάσει στους τελικούς χρήστες. Για το λόγο ότι τα σημερινά πρωτόκολλα δεν επαρκούν απαιτείται η χρήση άλλων. Ο σχεδιασμός του επίπεδο δικτύου ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων βασίζεται σε κάποιες αρχές οι οποίες φαίνονται παρακάτω :

- ο Αποτελεσματική χρήση της ενέργειας
- ο Τα δίκτυα αισθητήρων είναι συνήθως δεδομένο-κεντρικά
- ο Ο συγκερασμός των δεδομένων είναι χρήσιμος όταν δεν εμποδίζει την συνεργατική προσπάθεια των ασύρματων κόμβων
- ο Ένα ιδανικό δίκτυο αισθητήρων έχει διευθυνσιοδότηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά και γνώση της θέσης.

Τα πρωτόκολλα δρομολόγησης διαχωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με κάποιες παραμέτρους :

Ανάλογα με τον τρόπο δρομολόγησης :

1. **Προδραστική δρομολόγηση (proactive routing):** Το επίπεδο δικτύου ανανεώνει όλες τις διαδρομές περιοδικά και έχει με αυτόν τον τρόπο μια ενημερωμένη εικόνα του δικτύου και των καλύτερων διαδρομών.
2. **Αντιδραστική δρομολόγηση (Reactive routing):** Το δίκτυο βρίσκει την ζητούμενη διαδρομή μόνο όταν την χρειάζεται. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται κάθε επιπλέον κίνηση όταν αλλάζει το δίκτυο.
3. **Υβριδική δρομολόγηση :** Χρήση τρόπων δρομολόγησης που βασίζονται στην διάδοση ερωτημάτων βασισμένα σε πληροφορίες περιεχομένου ή σε πληροφορία θέσης.

Ανάλογα με τον γνώση της θέσης :

1. Δρομολόγηση με γνώση της θέσης
2. Δρομολόγηση χωρίς γνώση της θέσης.

Ανάλογα με το τρόπο συμμετοχής των κόμβων :

1. Άμεση επικοινωνία (direct communication): η οποία δεν είναι εφικτή μιας και η απαίτησεις σε ενέργεια αυξάνουν με την έκταση του δικτύου.
2. Επίπεδη δρομολόγηση (flat routing): στην οποία χρησιμοποιείται επικοινωνία μεταξύ γειτονικών κόμβων για την διασπορά της πληροφορίας. Οι κόμβοι κοντά στον κόμβο δεξαμενή (sink) έχουν μεγάλη απαίτηση σε ενέργεια αφού διακινούν όλη την πληροφορία μεταξύ του δικτύου και του κόμβου δεξαμενή (sink).
3. Πρωτόκολλα δρομολόγησης με ομάδες (clustering routing protocols). Είναι τα καταλληλότερα για τα δίκτυα αισθητήρων αφού έχουν αρκετά πλεονεκτήματα:
  - ο είναι επεκτάσιμα
  - ο συντηρούνται εύκολα
  - ο έχουν μικρή κατανάλωση ενέργειας

Όλα τα πρωτόκολλα δρομολόγησης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε :

1. Δεδομένο-κεντρικά
2. Ιεραρχικά

### 3. Βασισμένα στην θέση των κόμβων

Αναλυτικότερα τα δεδομένο-κεντρικά πρωτόκολλα σχετίζονται με ερωτήματα και εξαρτώνται από την ονομασία επιθυμητών δεδομένων, το οποίο βοηθά να εξαλειφθούν οι πλεονάζουσες εκπομπές. Τα ιεραρχικά πρωτόκολλα στοχεύουν στην ομαδοποίηση των κόμβων έτσι ώστε οι επικεφαλείς κόμβοι των ομάδων να εκτελούν κάποιο συγκερασμό και μείωση των δεδομένων προς εκπομπή με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας. Τα πρωτόκολλα που βασίζονται στην γνώση της θέσης των κόμβων, χρησιμοποιούν αυτή την πληροφορία για να αναμεταδώσουν τα δεδομένα σε επιθυμητές περιοχές, αντί σε όλο το δίκτυο.

#### 4.6.1 Δεδομένο-κεντρικά πρωτόκολλα δρομολόγησης

Σ' αυτή την κατηγορία δρομολόγησης, ο κόμβος συγκεντρωτής (sink) στέλνει ερωτήματα σε συγκεκριμένες περιοχές και περιμένει τα δεδομένα από τους αισθητήρες που βρίσκονται σε αυτές τις περιοχές. Αφού τα δεδομένα ζητούνται μέσω ερωτημάτων, είναι απαραίτητο να υπάρχει ονοματοδοσία βασισμένη σε χαρακτηριστικά προκειμένου να καθοριστούν λεπτομερώς οι ιδιότητες των δεδομένων.

- *Flooding*: Το flooding έχει πολύ εύκολη υλοποίηση αλλά μειονεκτεί ως προς την πληθώρα αντίγραφων μηνυμάτων που στέλνονται από τον ίδιο κόμβο, την επικάλυψη σε περίπτωση που οι κόμβοι ανιχνεύουν το ίδιο γεγονός και στην υπερβολική κατανάλωση ενέργειας.
- *To Gossiping*: δημιουργήθηκε για να διορθώσει το πρόβλημα της μεγάλης συκέντρωσης αντίγραφων μηνυμάτων αλλά χαρακτηρίζεται από καθυστερήσεις διάδοσης της πληροφορίας.
- *SPIN*: πετυχαίνει αποτελεσματική χρήση της ενέργειας. Ο μηχανισμός διαφήμισης των υπαρχόντων δεδομένων αλλά και των αναγκών σε νέα δεδομένα ο οποίος χρησιμοποιεί δεν μπορεί να εγγυηθεί την παράδοση των δεδομένων κατά συνέπεια δεν ενδείκνυται η χρήση του σε κρίσιμες εφαρμογές (βλ. σύστημα συναγερμού για ανίχνευση παραβιάσεων όπου απαιτείται αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων σε τακτά χρονικά διαστήματα)
- *Directed Diffusion*: ο κεντρικός κόμβος ενημερώνεται για τη διαθεσιμότητα συγκεκριμένων δεδομένων από τους αισθητήριους κόμβους. Κάθε κόμβος έχει την ικανότητα να κάνει συγκερασμό των δεδομένων και προσωρινή αποθήκευση. Κάτι που καθιστά αποτελεσματική τη χρήση της ενέργειας και μικρή καθυστέρηση. Μειονεκτεί στο ότι δεν είναι εφικτή η χρήση του σε όλες τις εφαρμογές για το λόγο ότι βασίζεται σε ένα μοντέλο παράδοσης της πληροφορίας, η ονοματοδοσία των ερωτημάτων εξαρτάται από την εφαρμογή συνεπώς κάθε φορά τα ερωτήματα πρέπει να καθορίζονται εξ' αρχής και η διαδικασία του ταιριάσματος απαιτεί επιπλέον χώρο στην επικεφαλίδα των ερωτημάτων.
- *Energy Aware Routing*: είναι παρόμοιο με το Directed Diffusion για το λόγο ότι ανακαλύπτονται πολλαπλά μονοπάτια από την πηγή μέχρι τον προορισμό. Τα μονοπάτια αυτά επιλέγονται από μια συνάρτηση πιθανοτήτων, η οποία εξαρτάται από την ενεργειακή κατανάλωση στον κάθε κόμβο. Το πρωτόκολλο αυτό θεωρεί ότι χρησιμοποιώντας συνέχεια το μονοπάτι με το μικρότερο κόστος συνεχώς θα έχει ως αποτέλεσμα να εξαντληθεί η ενέργεια των κόμβων. Για να αποφευχθεί αυτό, το κάθε ένα από τα πολλαπλά μονοπάτια χρησιμοποιούνται με μια συγκεκριμένη πιθανότητα έτσι ώστε να αυξηθεί η ζωή του δικτύου. Το παραπάνω πρωτόκολλο λειτουργεί σε 3 φάσεις:

1<sup>η</sup> Φάση εγκατάστασης



2<sup>η</sup> Φάση Επικοινωνίας

3<sup>η</sup> Φάση συντήρησης των διαδρομών.

Ακολουθεί μια αναλυτικότερη αναφορά στη λειτουργία των παραπάνω φάσεων:

Η πρώτη φάση όπου ξεκινά με τη διαδικασία εντοπισμού των δρομολογίων από τους κόμβους και δημιουργούν τους πίνακες δρομολόγησης. Παράλληλα εκτελείται η διαδικασία υπολογισμού το ενεργειακού κόστους σε κάθε κόμβο, που σχετίζεται με την εκπομπή, την λήψη μηνυμάτων καθώς επίσης και την απομένουσα ενέργεια των κόμβων. Αξιοσημείωτο είναι το ότι η πιθανότητα επιλογής μονοπατιού είναι αντιστρόφως ανάλογη του κόστους. Κατά την δεύτερη φάση εκτελείται η διαδικασία προώθησης πακέτων από κάθε κόμβο με την επιλογή κάποιου τυχαίου από τον πίνακα δρομολόγησης χρησιμοποιώντας την συνάρτηση των πιθανοτήτων. Στην τρίτη και τελευταία φάση επιτυγχάνεται η ανεύρεση μονοπατιών προκειμένου να κρατηθούν ενεργά.

- Το *Rumor Routing* είναι μια παραλλαγή του Directed Diffusion το οποίο ενδείκνυται για περιβάλλοντα όπου δεν εφαρμόζονται κριτήρια γεωγραφικής δρομολόγησης. Όταν ένας κόμβος ανιχνεύσει ένα συμβάν στέλνει στο δίκτυο ένα πακέτο πληροφορίας που αφορά αυτό το συμβάν, προς τους απομακρυσμένους κόμβους. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται το κόστος της «πλημμύρας» προς όλο το δίκτυο. Κατά συνέπεια διακρίνεται για την εξοικονόμηση ενέργειας και την αντιμετώπιση καταστροφής ή βλάβης κόμβων. Η διαφορά του από το Directed Diffusion είναι ότι το παραπάνω πρότυπο διατηρεί ένα μονοπάτι μεταξύ της πηγής και του προορισμού.
- Στο *Gradient Based Routing* ο κάθε κόμβος γνωρίζει πόσο απέχει από τον κόμβο δεξαμενή (sink) σε άλματα δηλαδή σε ύψος του κόμβου. Η διαφορά ύψους ενός κόμβου από ένα γειτονικό του κόμβο ονομάζεται κλίση του κόμβου. Τα πακέτα προωθούνται σε μια ζεύξη με τη μεγαλύτερη κλίση. Χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως ο συγκερασμός των δεδομένων και η εξάπλωση τους πετυχαίνει να εξισορροπήσει την κίνηση ομοιόμορφα. Όσον αφορά την εξάπλωση των δεδομένων χρησιμοποιούνται 3 τεχνικές:
  - ✓ Stochastic Scheme
  - ✓ Energy-Based Routing
  - ✓ Stream-Based scheme
- *CADR (Constrained Anisotropic Diffusion Routing)*.  
Με την προαναφερθείσα δρομολόγηση προτείνονται 2 τεχνικές:

- ✓ Η δρομολόγηση που περιλαμβάνει ερωτήσεις κατευθυνόμενες προς τους αισθητήρες με βάση την πληροφορία
- ✓ η δρομολόγηση η οποία περιλαμβάνει περιορισμένη μη ιστροπική διάχυση.

Η παραπάνω δρομολόγηση επιδιώκει τα δεδομένα του δίκτυο να έχουν κέρδος στην πληροφορία και ταυτόχρονα μείωση των καθυστερήσεων και του χρησιμοποιούμενου εύρους συχνοτήτων. Συμπερασματικά λοιπόν προκύπτει ότι διαφέρει από το Directed Diffusion. Κάθε κόμβος έχει την ικανότητα της αξιολόγησης της πληροφορίας και του κόστους διάδοσής έχοντας ως βάση τις τοπικές πληροφορίες και τις απαιτήσεις των χρηστών.

#### 4.6.2 Ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης

- ο *LEACH Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*.

Το παραπάνω πρωτόκολλο αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ιεραρχικά πρωτόκολλα δρομολόγησης για δίκτυα αισθητήρων. Σχετίζεται με τη δημιουργία ομάδων αισθητήριων κόμβων, που έχουν ως βάση την ένταση του λαμβανόμενου σήματος και την χρήση των επικεφαλών των ομάδων σαν δρομολογητών μεταξύ των κόμβων και του κόμβου δεξαμενή. Συνεπώς επιτυγχάνεται εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας, λόγω του ότι η εκπομπή δεδομένων προς τον κόμβο δεξαμενή πραγματοποιείται μόνο από τους επικεφαλείς κόμβους. Ο βέλτιστος αριθμός των επικεφαλείς κόμβων είναι το 5% των συνολικών κόμβων. Αξίζει να προσθέσουμε ότι ο συγκερασμός των δεδομένων πραγματοποιείται στους κόμβους επικεφαλείς των ομάδων. Η λειτουργία του πρωτοκόλλου διακρίνεται σε δύο φάσεις:

α) τη φάση εγκατάστασης

β) τη σταθερή φάση.

Κατά την πρώτη φάση επιλέγονται οι επικεφαλείς των κόμβων. Αυτό γίνεται προκειμένου να εξισοροπίσει η απώλεια ενέργειας μεταξύ των κόμβων μιας και οι επικεφαλείς κόμβοι αλλάζουν τυχαία στο χρόνο.

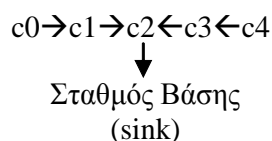
Το πρωτόκολλο LEACH επιτυγχάνει μείωση ως και 7 φορές στην κατανάλωση της ενέργειας σε σχέση με την απ' ευθείας μετάδοση και μείωση 4-8 φορές σε σχέση με την μέθοδο μετάδοσης της μικρότερης ενέργειας. Επιπλέον χρησιμοποιεί δρομολόγηση single-hop στην οποία ο κάθε κόμβος μπορεί να εκπέμψει κατευθείαν στον επικεφαλής της ομάδας και στον κόμβο sink. Βέβαια αυτό είναι κάτι που καθιστά ανέφικτη την εφαρμογή σε δίκτυα που εγκαθίστανται σε μεγάλες περιοχές. Ένα άλλο πρόβλημα αποτελεί και η δυναμική αλλαγή των ομάδων που επιφέρει επιπλέον κατανάλωση ενέργειας λόγω αλλαγής του επικεφαλής, της επιπλέον διαφήμισης κ.α.

- ο PEGASIS

Αποτελεί βελτίωση του πρωτοκόλλου LEACH με τη διαφορά ότι το πρωτόκολλο LEACH σχετίζεται με:

- ❖ τη χρήση δρομολόγησης multi-hop
- ❖ με τη δημιουργία αλυσίδων
- ❖ με την επιλογή ενός μόνο κόμβου που θα εκπέμψει προς το σταθμό βάσης αντί της χρήσης πολλαπλών κόμβων.

Τα συλλεγμένα δεδομένα κινούνται από κόμβο σε κόμβο, αθροίζονται και τελικώς στέλνονται προς το σταθμό βάσης.



Εικόνα 30 :Η αλυσίδα λειτουργίας του PEGASIS

Αξίζει να αναφέρουμε ότι ξεπερνάει σε απόδοση το LEACH περίπου 100-300% για διάφορα μεγέθη δικτύου και διάφορες τοπολογίες. Αλλά δεν μπορούμε να παραβλέψουμε ότι επιφέρει μεγάλη καθυστέρηση για απομακρυσμένους κόμβους στην αλυσίδα.

- ο Ιεραρχικό PEGASIS

0

Αποτελεί επέκταση του απλού PEGASIS. Δημιουργήθηκε με βασικό σκοπό την ελαχιστοποίηση της καθυστέρησης και τον εντοπισμό λύσης για τη συγκέντρωση των δεδομένων. Για να αποφευχθούν συγκρούσεις και πιθανές παρεμβολές από κόμβους που εκπέμπουν σε κοντινή απόσταση έχουν ερευνηθεί 2 τεχνικές :

- 1) κωδικοποίηση σήματος

- 2) ταυτόχρονη εκπομπή των κόμβων που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

Η λειτουργία του ιεραρχικού PEGASIS είναι βέλτιστη. Επιπλέον δεν απαιτείται κόστος της ομαδοποίησης αλλά δυναμική ρύθμιση της τοπολογίας λόγω του ότι καθίσταται δύσκολη η ανίχνευση της ενέργειας των αισθητήρων. Λόγου χάρη κάθε κόμβος πρέπει να γνωρίζει την κατάσταση του γείτονά του, ώστε να ξέρει που θα δρομολογήσει τα δεδομένα. Τέτοια ρύθμιση στην τοπολογία μπορεί να αποδειχτεί αρκετά δαπανηρή.

- ο TEEN

Το παραπάνω πρότυπο δημιουργήθηκε με σκοπό να είναι ανθεκτικό σε μεταβολές όπως αυτή της θερμοκρασίας. Το δίκτυο αισθητήρων από αρχιτεκτονικής πλευράς αποτελείται από ομάδες που δημιουργούνται μεταξύ των κοντινότερων κόμβων μέχρις ότου οδηγηθούμε στο σταθμό βάσης. Το TEEN δεν συνίσταται για περιπτώσεις περιοδικής λήψης δεδομένων.

- ο APTEEN

Το APTEEN AdaPtive TEEN αποτελεί βελτίωση του TEEN το οποίο συνίσταται για περιοδικές λήψεις δεδομένων. Από αρχιτεκτονικής πλευράς δε διαφέρει από το TEEN. Προσομοιώσεις έδειξαν ότι το TEEN και το APTEEN είναι αποδοτικότερα του LEACH. Η απόδοση του APTEEN όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας και στην ζωή του δικτύου, βρίσκεται μεταξύ του TEEN και του LEACH, με το TEEN να βρίσκεται στην κορυφή. Μειονεκτήματα αποτελούν το υψηλό κόστος και η αυξημένη πολυπλοκότητα της δημιουργίας ομάδων σε πολλαπλά επίπεδα, η υλοποίηση των εξισώσεων που βασίζονται στα κατώφλια, καθώς και η υλοποίηση ερωτημάτων που βασίζονται σε ονοματοδοσία των χαρακτηριστικών.

- Energy-Aware routing for cluster-based sensor networks

Το πρωτόκολλο αυτό αφορά σε ένα ιεραρχικό αλγόριθμο που εμπεριέχει επικεφαλείς ομάδων λιγότερο περιοριστικές ενεργειακά από ότι οι αισθητήρες. Οι επικεφαλείς διατηρούν την κατάσταση των αισθητήρων και εγκαθιστούν μονοπάτια πολλαπλών αλμάτων για τη συλλογή των αισθητήριων δεδομένων. Στο επίπεδο ζεύξης χρησιμοποιείται τεχνική TDMA. Η έξοδος έχει την ικανότητα να ενημερώνει κάθε κόμβο για τις χρονοθυρίδες που μπορεί να εκπέμψει και ο κόμβος συγκεντρωτής ο οποίος έχει ως κύριο μέλημα του να επικοινωνεί μόνο με τις εξόδους.

Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε ότι οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να λειτουργούν είτε σε ενεργή κατάσταση είτε σε κατάσταση αναμονής χαμηλής ενέργειας. Οι αισθητήριοι κόμβοι σε μια ομάδα μπορούν να βρίσκονται σε μία εκ των καταστάσεων :

- αισθήσεως
- αναμετάδοσης
- αισθήσεως και αναμετάδοσης
- εκτός ενεργείας (inactive).

Αξιοσημείωτο είναι ότι δημιουργείται μια συνάρτηση κόστους ανάμεσα από δύο κόμβους η οποία βασίζεται στην κατανάλωση ενέργειας, τη βελτιστοποίηση καθυστερήσεων, και άλλες μετρικές παραμέτρους απόδοσης. Σαν έξοδο από αυτή τη συνάρτηση παίρνουμε το κόστος ζεύξης, το οποίο και χρησιμοποιείται για να βρεθεί το μονοπάτι με τη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, μεταξύ των αισθητήριων κόμβων και της εξόδου .

- Self- Organizing Protocol

Το πρωτόκολλο αυτό υποστηρίζει μια διαφορετική αρχιτεκτονική για τη δημιουργία εφαρμογών με ανομοιογενείς αισθητήρες που μπορούν να είναι είτε κινητοί είτε στάσιμοι. Ορισμένοι κόμβοι έχουν την ικανότητα προωθούν τα συλλεγμένα δεδομένα σε ένα σύνολο κόμβων που δρουν σαν δρομολογητές, αφού προηγουμένως εξετάσουν το περιβάλλον. Οι προαναφερθείς κόμβοι είναι στάσιμοι και αποτελούν τη βάση για την επικοινωνία. Τα δεδομένα με αυτό τον τρόπο φθάνουν σε πιο ισχυρούς κόμβους συγκεντρωτές (more powerful sink nodes). Κάθε αισθητήριος κόμβος θα πρέπει να είναι σε ικανή απόσταση επικοινωνίας από ένα δρομολογητή προκειμένου να ανήκει στο δίκτυο. Η αρχιτεκτονική δρομολόγησης είναι ιεραρχική με σχηματισμό ομάδων κόμβων και ένωση τους, όποτε αυτό είναι αναγκαίο. Με τη χρήση του αλγόριθμου Local Markov Loops LML παρατηρήθηκε αντοχή σε λάθη. Η λειτουργία του αλγόριθμου διακρίνεται στις εξής φάσεις :

- Φάση Εύρεσης
- Φάση Οργάνωσης
- Φάση Συντήρησης
- Φάση Αυτό-οργάνωσης.

Τα πλεονεκτήματα του αλγορίθμου είναι:

- το μικρό κόστος της διατήρησης των πινάκων δρομολόγησης
- η ισορροπημένη ιεραρχία της δρομολόγησης

- η ενέργεια για την αποστολή ενός καθολικού μηνύματος
- η αντοχή σε λάθη.

Τα μειονεκτήματα του αλγορίθμου είναι :

- η φάση της οργάνωσης που επιφέρει ένα επιπλέον κόστος
- η φάση υλοποίησης της ιεραρχίας όταν υπάρχουν πολλά κοψίματα στο δίκτυο.

#### 4.6.3 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στην θέση

- MECN

Φτιάχνει και διατηρεί ένα δίκτυο ελάχιστης ενέργειας για ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιώντας ένα χαμηλής ισχύος GPS. Το MECN βρίσκει μια περιοχή αναμετάδοσης (relay region) για κάθε κόμβο. Αυτή η αποτελείται από κόμβους στην γύρω από τον κόμβο περιοχή, μέσω των οποίων η μετάδοση είναι πιο αποτελεσματική ενεργειακά, από ότι η απ' ευθείας μετάδοση. Σκοπός του MECN είναι η εύρεση ενός υπό-δικτύου, το οποίο έχει μικρότερο αριθμό κόμβων και απαιτεί λιγότερη ενέργεια για εκπομπή μεταξύ δύο οποιοδήποτε κόμβων. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάζονται μονοπάτια ελάχιστης ενέργειας (global minimum paths), χωρίς να λαμβάνει υπόψη όλους τους κόμβους του δικτύου. Το πρωτόκολλο έχει 2 φάσεις :

- Λαμβάνει τις θέσεις ενός επιπέδου 2 διαστάσεων και κατασκευάζει μια αραιή γραφική παράσταση (enclosure graph)
- Βρίσκει τα βέλτιστα μονοπάτια εντός του γράφου.

Το MECN είναι αυτορρυθμιζόμενο και έτσι μπορεί δυναμικά να προσαρμοστεί σε αποτυχίες (αστοχίες) κάποιων κόμβων ή στην εξάπλωση νέων κόμβων.

- SMECN Small MECN

Είναι μια επέκταση του MECN. Στο MECN δεν είναι δυνατόν κάθε κόμβος να εκπέμπει σε άλλον κόμβο κάθε στιγμή. Το SMECN υποθέτει ότι μπορεί να υπάρχουν πιθανά εμπόδια μεταξύ των κόμβων αλλά ότι το δίκτυο παραμένει πλήρως συνδεδεμένο. Το υποδίκτυο που κατασκευάζεται από το SMECN είναι μικρότερο από ότι στο MECN με την προϋπόθεση ότι μια καθολική εκπομπή είναι ικανή να φτάσει προς όλους τους κόμβους σε μια κυκλική περιοχή γύρω από τον κόμβο που εκπέμπει προς όλους. Αποτέλεσμα είναι ο αριθμός των αλμάτων για επικοινωνία να είναι μειωμένος. Αποτελέσματα προσομοίωσης έδειξαν ότι το SMECN χρησιμοποιεί λιγότερη ενέργεια από το MECN και το κόστος συντήρησης των δεσμών είναι μικρότερο. Το μειονέκτημά του είναι ότι το να βρεις ένα υποδίκτυο με μικρότερο αριθμό άκρων εισάγει επιπλέον κόστος στον αλγόριθμο.

- GAF Geographical Adaptive Fidelity

Είναι ένας αλγόριθμος δρομολόγησης που λαμβάνει υπόψη την καταναλισκόμενη ενέργεια και την θέση που βρίσκεται ο αισθητήρας, ο οποίος σχεδιάστηκε αρχικά για κινούμενα ad-hoc δίκτυα, αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και σε δίκτυα αισθητήρων. Το GAF διατηρεί την ενέργεια θέτοντας εκτός λειτουργίας τους μη αναγκαίους κόμβους του δικτύου χωρίς όμως να επηρεάζει το επίπεδο πιστότητας της δρομολόγησης. Δημιουργεί ένα εικονικό πλέγμα της καλυπτόμενης περιοχής. Οι κόμβοι που ανήκουν στο ίδιο σημείο στο πλέγμα θεωρούνται ισοδύναμοι χρησιμοποιώντας ως μέτρο την καταναλισκόμενη ενέργεια για την δρομολόγηση ενός πακέτου. Έτσι μόνο ένας κόμβος από όλους μένει ενεργός σε κάθε σημείο του πλέγματος, ενώ όλοι οι υπόλοιποι τίθενται εκτός λειτουργίας (κατάσταση ύπνου). Οι κόμβοι στο πρωτόκολλο GAF αλλάζουν την κατάσταση τους από μη ενεργοί (sleeping) σε ενεργούς (active) έτσι ώστε το φορτίο να είναι ισορροπημένο. Οι κόμβοι μπορούν να βρίσκονται σε 3 καταστάσεις όπως το πρωτόκολλο ορίζει. Αυτές είναι:

- α) Ανακάλυψης (discovery) : όπου βρίσκονται οι γείτονες στο πλέγμα
- β) Ενεργή (active) που αντικατοπτρίζει την συμμετοχή στην δρομολόγηση
- γ) Μη ενεργή (sleep).

- GEAR Geographically and Energy Aware Routing

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί πληροφορίες ενέργειας και θέσης των γειτονικών κόμβων για να δρομολογήσει τα πακέτα προς την περιοχή του στόχου. Σκοπός είναι να μειωθεί ο αριθμός των ενδιαφερόμενων κόμβων όπως συμβαίνει με την δρομολόγηση Directed Diffusion, χρησιμοποιώντας μια μόνο περιοχή για αποστολή των μηνυμάτων, από το να στέλνει το ενδιαφέρον σε όλο το δίκτυο. Το GEAR με αυτόν τον τρόπο συμπληρώνει το πρωτόκολλο Directed Diffusion καταναλώνοντας λιγότερη ενέργεια. Στο GEAR κάθε κόμβος διατηρεί μια πληροφορία για το κόστος που απαιτείται (με μέτρο την καταναλισκόμενη ενέργεια) για να φθάσει ένα πακέτο στον προορισμό του μέσω των γειτόνων του. Αυτή η πληροφορία περιλαμβάνει 2 κόστη α) ένα εκτιμώμενο κόστος (estimated cost) και β) ένα γνωστό κόστος το οποίο μαθαίνεται (learning cost). Το εκτιμώμενο κόστος (estimated cost) υπολογίζεται από το συνδυασμό της υπάρχουσας ενέργειας στον κόμβο και της απόστασης μέχρι τον προορισμό. Το γνωστό κόστος (learned cost) υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη εκτός από το εκτιμώμενο κόστος (estimated cost) και τη δρομολόγηση γύρω από τυχόν κενά (holes) του δικτύου. Ένα κενό (hole) στο δίκτυο δημιουργείται όταν ένας κόμβος δεν έχει κάποιον άλλον πλησιέστερο γείτονα προς την περιοχή του στόχου παρά μόνο τον εαυτό του. Σε περίπτωση που δεν υπάρχουν τρύπες (holes) στο δίκτυο τότε το εκτιμώμενο κόστος (estimated cost) είναι ίδιο με το γνωστό (learned cost). Το γνωστό κόστος διαδίδεται κάθε φορά ένα άλμα προς τα πίσω, κάθε φορά που ένα πακέτο φθάνει στον προορισμό του, έτσι ώστε να ρυθμιστεί η εγκατάσταση του δρομολογίου (route setup-up) για το επόμενο πακέτο.

Υπάρχουν δύο φάσεις στον αλγόριθμο :

α) Προώθηση πακέτων προς την περιοχή του στόχου : Όταν ένας κόμβος λαμβάνει ένα πακέτο, ελέγχει αν κάποιος από τους γείτονές του είναι πιο κοντά στον στόχο από τον ίδιο. Αν υπάρχουν περισσότεροι από ένας, επιλέγεται ο κοντινότερος. Αν δεν υπάρχει κανείς κοντύτερα στην περιοχή του στόχου, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της τρύπας. Τότε επιλέγεται κάποιος από τους γείτονες για να προωθήσει το πακέτο βασισμένος στην μαθησιακή συνάρτηση. Αυτή η επιλογή μπορεί μετά να ανανεωθεί καθώς τα μαθησιακά κόστη συγκλίνουν κατά την παράδοση του πακέτου.

β) Προώθηση των πακέτων μέσα στην περιοχή του στόχου : αν το πακέτο φθάσει στην περιοχή του στόχου, τότε μπορεί να διαχυθεί είτε με αναδρομική γεωγραφική προώθηση είτε με περιορισμένη διάχυση (flooding). Η τελευταία μέθοδος είναι καλή όταν οι αισθητήρες δεν είναι εγκατεστημένοι πυκνά. Σε διαφορετική περίπτωση χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος και η

περιοχή του στόχου χωρίζεται σε 4 υπό-περιοχές και δημιουργούνται 4 αντίγραφα του πακέτου. [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40].

- Τεχνικές Εύρεσης Θέσης

Οι τρεις βασικές τεχνικές για εύρεση της θέσης είναι ο τριγωνισμός (triangulation), η ανάλυση του σκηνικού (scene analysis) και η εγγύτητα (proximity).

### *Τριγωνισμός (Triangulation)*

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί τις γεωμετρικές ιδιότητες των τριγώνων για να υπολογίσει τις θέσεις των αντικειμένων. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες τριγωνισμού είναι το lateration που χρησιμοποιεί μέτρηση αποστάσεων, και γωνιακή θέση (angulation) που χρησιμοποιεί μέτρηση γωνιών ή αζιμουθίων (bearing measurement).

### Lateration

Προκειμένου να βρεθεί η θέση ενός αντικειμένου πρέπει να μετρηθούν οι αποστάσεις από πολλαπλά γνωστά σημεία ή σημεία αναφοράς. Προκειμένου να βρεθεί η θέση σε 2 διαστάσεις απαιτείται η μέτρηση αποστάσεων από 3 μη ομοαξονικά σημεία, ενώ για εύρεση θέσης σε 3 διαστάσεις απαιτούνται 4 μη ομοεπίπεδα σημεία. Είναι δυνατόν αυτά τα σημεία να μειωθούν με τη βοήθεια ενός συστήματος εύρεσης θέσης χρησιμοποιώντας χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος.

Γενικά χρησιμοποιούνται 3 τεχνικές για την μέτρηση αποστάσεων.

α) Απευθείας. Αυτό γίνεται με τη χρήση μια φυσικής πράξης ή κίνησης. Για παράδειγμα ένα ρομπότ μπορεί να μετρήσει μια απόσταση εκτεινώντας ένα μεταλλικό άκρο μέχρι να έχει φυσική επαφή με το προς μέτρηση αντικείμενο.

β) Χρόνος «Πτήσης» (Time-of-Flight). Αποτελεί μια τεχνική με βάση το χρόνο.

γ) Εξασθένιση (Attenuation). Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι η ένταση ενός εκπεμπόμενου σήματος μειώνεται καθώς η απόσταση από το σημείο εκπομπής αυξάνεται. Συχνά καλείται *Received Signal Strength Indicator (RSSI)* 0. Αξίζει να αναφέρουμε ότι σε περιβάλλοντα με πολλά εμπόδια η χρήση αυτής της τεχνικής είναι οικονομικότερη από την μέθοδο του χρόνου «πτήσης». Τα προβλήματα διάδοσης λόγου χάρη οι ανακλάσεις καθιστούν αδύνατη την σύνδεση της εξασθένισης και της απόστασης, ως τροχοπέδη να έχουμε ανακριβείς εκτιμήσεις της απόστασης μεταξύ των σημείων. Βέβαια αυτό στα δίκτυα αισθητήρων δεν μας προβληματίζει σε περιπτώσεις μεγάλης πυκνότητας κατά την εγκατάσταση τους. Η συγκεκριμένη τεχνική είναι ιδανικότερη από την προηγούμενη για το λόγο ότι απαιτείται μόνο μία εκπομπή από τον έναν και μία λήψη από τον άλλο κόμβο, προκειμένου να βρεθεί η θέση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της εφαρμογής αποτελεί το σύστημα SpotON.

### Angulation

Η Angulation θα μπορούσαμε να πούμε ότι μοιάζει με την lateration με τη διαφορά ότι εδώ έχουμε να κάνουμε με μέτρηση γωνιών, προκειμένου να βρεθεί η θέση ενός αντικειμένου. Πιο συγκεκριμένα απαιτείται η μέτρηση 2 γωνιών και μιας απόστασης για εύρεση θέσης σε 2 διαστάσεις ενώ για τις 3 διαστάσεις χρειάζεται επιπρόσθετα και η μέτρηση ενός αζιμουθίου.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα της τεχνικής αυτής αποτελεί ο μαγνητικός βορράς, οι πολλαπλές κεραιές με διαφορετική φάση, το VHF Omnidirectional Ranging (VOR) για την ναυσιπλοΐα των αεροσκαφών.

### *Ανάλυση του πεδίου (Scene Analysis)*

Στην τεχνική *ανάλυσης του πεδίου* τα χαρακτηριστικά ενός περιβάλλοντος που παρατηρήθηκαν από κάποιο κατάλληλα επιλεγμένο σημείο, είναι δυνατόν να εξαχθούν συμπεράσματα για την θέση του παρατηρητή ή των αντικειμένων στο περιβάλλον. Συνήθως τα παρατηρούμενα περιβάλλοντα απλοποιούνται προκειμένου να είναι εύκολο να αναπαρασταθούν και να συγκριθούν.

Τα περιβάλλοντα διακρίνονται σε :

- Στατικά
- Δυναμικά

Αναλυτικότερα στα *στατικά* περιβάλλοντα η ανάλυση του πεδίου βασίζεται σε προσχεδιασμένα σύνολα αντικειμένων που έχουν παρατηρηθεί και έχουν αναπαρασταθεί σε τοποθεσίες αντικειμένων. Εν αντιθέσει στα *δυναμικά* περιβάλλοντα η ανάλυση του πεδίου παρακολουθεί τις διαφορές μεταξύ των διαδοχικών σκηνών προκειμένου να κάνει εκτίμηση της τοποθεσίας. Οι διαφορές στο πεδίο ανταποκρίνονται στον τρόπο που ο παρατηρητής βλέπει το περιβάλλον καθώς αυτός κινείται. Αν υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά σημεία των οποίων οι θέσεις είναι γνωστές, ο παρατηρητής μπορεί να υπολογίσει τη θέση του σε σχέση με αυτά.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η θέση των αντικειμένων μπορεί να συναχθεί χρησιμοποιώντας παθητική παρατήρηση και τα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, χωρίς να είναι αναγκαία η χρήση γεωμετρικών αποστάσεων και γωνιών. Σε περίπτωση που γίνει κάποια αλλαγή στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος συνήθως αναγκάζει επανάκτηση κάποιων σημείων του συνόλου ή ανάκτηση ενός καινούριου συνόλου σημείων. Η παραπάνω τεχνική έχει εφαρμογές στο σύστημα του RADAR.

### *Εγγύτητα (Proximity)*

Η *Proximity* είναι μια τεχνική η οποία απαιτεί την ανίχνευση της παρουσίας ενός αντικειμένου με τη χρήση ενός φυσικού φαινομένου περιορισμένης ακτίνας. Υπάρχουν 3 διαφορετικές προσεγγίσεις γι' αυτή την τεχνική :

- Ανίχνευση φυσικής επαφής.
- Παρακολούθηση ασύρματων κυψελωτών σημείων πρόσβασης.
- Παρακολούθηση συστημάτων αυτόματου αριθμού αναγνώρισης (*automatic ID systems*).

Συνήθως τέτοια συστήματα αναγνώρισης θέσης με χρήση της εγγύτητας μπορεί να χρειάζεται να συνδυαστούν με κάποιο σύστημα αναγνώρισης, αν δεν διαθέτουν τέτοια δυνατότητα.



#### 4.6.4 Πρωτόκολλα δρομολόγησης βασισμένα στην ροή του δικτύου και στην ποιότητα της υπηρεσίας.

- Maximum lifetime energy routing

Το *Maximum lifetime energy routing* είναι ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης που αφορά στην ροή του δικτύου. Βασικό μέλημα του παραπάνω πρωτοκόλλου αποτελεί η μεγιστοποίηση της διάρκειας ζωής του δικτύου με τον προσεκτικό σχεδιασμό του κόστους ζεύξης σαν συνάρτηση της εναπομένουσας ενέργειας του κόμβου και της απαιτούμενης ενέργειας εκπομπής χρησιμοποιώντας αυτή τη ζεύξη. Επίσης μπορούμε να αναφέρουμε την ύπαρξη δύο αλγόριθμων οι οποίοι έχουν ως σκοπό τον υπολογισμό της μέγιστης εναπομένουσας ενέργειας.

- Maximum lifetime data gathering

Ο *Maximum lifetime data gathering* αποτελεί έναν αλγόριθμο ο οποίος σχετίζεται με τη μέγιστη ζωή του δικτύου με σκοπό τη συλλογή δεδομένων. Ένας αλγόριθμος που βασίζεται στα παραπάνω είναι ο «Συγκερασμός Δεδομένων για μέγιστη ζωή» (Maximum Lifetime Data Aggregation MLDA). Ο αλγόριθμος θεωρεί ότι γίνεται συγκερασμός των δεδομένων (data aggregation), καθώς ορίζονται τα μονοπάτια δρομολόγησης που αυξάνουν την ζωή του δικτύου στο μέγιστο. Μια παραλλαγή του προβλήματος περιλαμβάνει τον αλγόριθμο «Δρομολόγηση δεδομένων για μέγιστη ζωή» (Maximum Lifetime Data Routing MLDR), και χρησιμοποιείται για δίκτυα όπου δεν είναι δυνατός ο συγκερασμός των δεδομένων π.χ. ροές δεδομένων από αισθητήρες βίντεο. Και οι δύο αλγόριθμοι συγκρινόμενοι με το ιεραρχικό PEGASIS όσον αφορά στην μεγιστοποίηση της ζωής του δικτύου, απέδωσαν καλύτερα. Στην περίπτωση του MLDA έχουμε μια καθυστέρηση στην παράδοση των πακέτων από ότι το ιεραρχικό PEGASIS. Επίσης, αν και το MLDA αποδίδει καλά οι υπολογισμοί για την καλύτερη διαδρομή είναι δύσκολοι για μεγάλα δίκτυα, γι' αυτό και προτείνεται μια λύση που είναι η ομαδοποίηση, ώστε να εξασφαλιστεί η δυνατότητα επέκτασης του αλγορίθμου σε μεγάλα δίκτυα.

- Minimum Cost Forwarding

Το *Minimum Cost Forwarding* αποτελεί ένα πρωτόκολλο που στοχεύει στο να βρει τη διαδρομή με το ελάχιστο δυνατό κόστος σε ένα μεγάλο δίκτυο αισθητήρων. Δεν έχει ως βάση τη ροή του δικτύου, αλλά για το λόγο ότι τα δεδομένα ρέουν στο μονοπάτι με το μικρότερο κόστος και οι πόροι των αισθητήριων κόμβων ανανεώνονται σε κάθε ροή, μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει σε αυτήν την ομάδα.

Η συνάρτηση κόστους του πρωτοκόλλου υπολογίζει το φαινόμενο της καθυστέρησης, την διαμεταγωγή και την κατανάλωση της ενέργειας από κάθε κόμβο προς τον κόμβο δεξαμενή (sink). Το πρωτόκολλο λειτουργεί σε δύο φάσεις:

- 1<sup>η</sup> φάση της εγκατάστασης, όπου και τίθεται το κόστος για κάθε κόμβο.
- 2<sup>η</sup> φάση του αλγορίθμου, η πηγή μεταδίδει ταυτόχρονα προς όλους τους γείτονές της δεδομένα.

Αποτελέσματα προσομοίωσης έδειξαν ότι ο αλγόριθμος συμπεριφέρεται όπως και η «πλημμύρα» (flooding). Με τον αλγόριθμο οπισθοχώρησης τα εκπεμπόμενα μηνύματα κατά την πρώτη φάση μειώνονται στο μισό σε σχέση με το flooding.

- Sequential Assignment Routing SAR

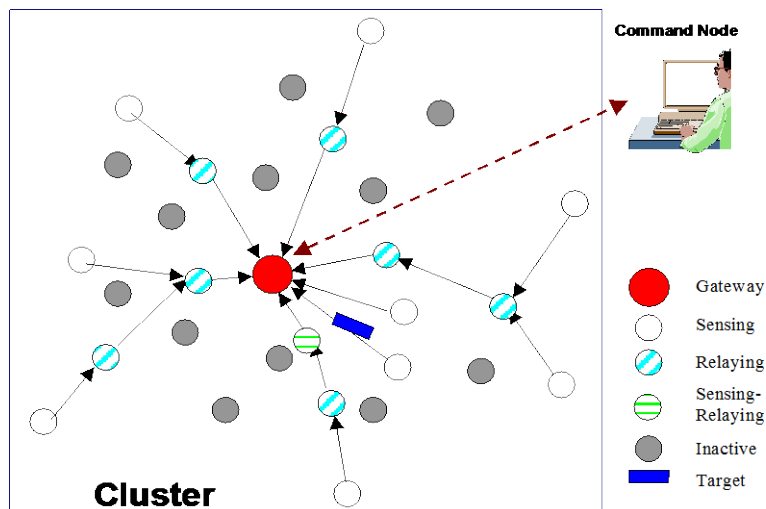
Το SAR είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο περιλαμβάνει την έννοια της ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Το πρωτόκολλο αυτό έχει την ικανότητα να κατασκευάζει δέντρα των οποίων η ρίζες είναι οι άμεσοι γείτονες προς τον κόμβο δεξαμενή. Το κάθε δέντρο επεκτείνεται μακριά από τον κόμβο δεξαμενή (sink), αποφεύγοντας να συμπεριλάβει σε αυτό κόμβους με πολύ χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας (QoS) ή μικρή εναπομένουσα ενέργεια. Στο τέλος αυτής της διαδικασίας οι περισσότεροι κόμβοι ανήκουν σε πολλαπλά δέντρα. Αυτό επιτρέπει στον κόμβο να επιλέγει το καταλληλότερο δέντρο προκειμένου να αναμεταδώσει προς τον κόμβο δεξαμενή. Σημαντικό αποτελεί το ότι κάθε μονοπάτι διακρίνεται από δύο παραμέτρους, προκειμένου να επιλεγεί το καταλληλότερο μονοπάτι από τους κόμβους:

α) Η εναπομένουσα ενέργεια

β) η ποιότητα της υπηρεσίας (QoS).

Το πρωτόκολλο SAR τηρεί ταυτόχρονα πολλαπλά μονοπάτια από τους κόμβους προς τον κόμβο δεξαμενή. Παρόλο που υπάρχει ανοχή σε λάθη και ευκολία επαναφοράς μετά από δυσλειτουργία κάποιου κόμβου, παρατηρείται δυσκολία στην διατήρηση των πινάκων δρομολόγησης, ειδικά όταν το δίκτυο είναι μεγάλο.

- Energy-Aware QoS Routing Protocol



Εικόνα 320: Τοπική ομάδα δικτύου αισθητήρων

Το *Energy-Aware QoS Routing Protocol* είναι ένα πρωτόκολλο έχει ως σκοπό την ανεύρεση ενός μονοπατιού το οποίο έχει το μικρότερο κόστος και είναι και αποτελεσματικό ενεργειακά, ενώ ταυτόχρονα εγγυάται συγκεκριμένη καθυστέρηση. Το κόστος της ζεύξης που χρησιμοποιείται είναι μια συνάρτηση που λαμβάνει υπόψη την εναπομένουσα ενέργεια του κόμβου, την ενέργεια εκπομπής, το ρυθμό των λαθών και άλλες επικοινωνιακές παραμέτρους.

- SPEED

Το *SPEED* είναι ένα πρωτόκολλο αυτό απαιτεί από τον κάθε κόμβο να διατηρεί πληροφορία για τους γείτονές του και χρησιμοποιεί γεωγραφική προώθηση των πακέτων για να βρει τα μονοπάτια. Επιπλέον το πρωτόκολλο αυτό προσπαθεί να επιτύχει μια σταθερή ταχύτητα για κάθε πακέτο που κινείται στο δίκτυο, έτσι ώστε η κάθε εφαρμογή να μπορεί να εκτιμήσει την από άκρη σε άκρη καθυστέρηση. Επίσης το πρωτόκολλο μπορεί να αποφύγει την συμφόρηση όταν συμβαίνει αυτό στο δίκτυο.

Συγκρίνοντας το με το Dynamic Source Routing (DSR) και το Ad-hoc on-demand vector routing (AODV), το *SPEED* λειτουργεί καλύτερα όσον αφορά στην καθυστέρηση. Επιπλέον η ολική εκπεμπόμενη ενέργεια είναι λιγότερη λόγω της απλότητας του αλγορίθμου δηλ. το κόστος ελέγχου του πακέτου είναι μικρότερο και στην ισόρροπη διανομή της κίνησης. Τέτοιος καταμερισμός του φορτίου επιτυγχάνεται χάρη στο μηχανισμό SNFG. Ανάλογος καταμερισμός της κίνησης εκτελείται και στο GBR, με την κατανομή της κίνησης ομοιόμορφα μέσα στο δίκτυο.

[42] [43] [44] [45] [46].

#### 4.7 Επίπεδο Μεταφοράς

Η ύπαρξη του επιπέδου μεταφοράς ενδείκνυται να υπάρχει για συστήματα προσβάσιμα στο Διαδίκτυο ή σε άλλα εξωτερικά δίκτυα. Είναι κάτι σύνηθες σε δίκτυα αισθητήρων προκειμένου να παρακολουθήσουν γεγονότα και να μεταδώσουν πληροφορίες. Στη σημερινή εποχή που επικρατεί η ιδέα της «δικτύωσης παντού», μια πληροφορία η οποία δεν μπορεί να μεταδοθεί έγκαιρα σε οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο, θεωρείται παρωχημένη και χωρίς αξία. Συνεπώς, η ανάγκη σύνδεσης ενός δικτύου ασύρματων αισθητήρων με άλλα δίκτυα είναι επιβεβλημένη. Το πρωτόκολλο TCP όπως είναι σχεδιασμένο μπορεί να ταιριάζει με τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων, με κάποια αλλαγή όπως είναι ο τερματισμός του πρωτοκόλλου στους κόμβους «δεξαμενές» όπου θα τερματίζεται και η σύνδεση TCP. Από εκεί και πέρα κάποιο ειδικό πρωτόκολλο μεταφοράς μπορεί να αναλάβει τη διακίνηση της πληροφορίας μεταξύ των ασύρματων κόμβων και του κόμβου δεξαμενή. Αυτή η διαφοροποίηση είναι αναγκαία λόγω των χαρακτηριστικών των δικτύων αισθητήρων, καθώς και στο διαφορετικό τρόπο διευθυνσιοδότησης βασισμένο στα χαρακτηριστικά της πληροφορίας και όχι σε συγκεκριμένους αισθητήρες, όπως αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

#### 4.8 Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, αποτελεί κάτι άγνωστο παρόλο που έχουν οριστεί και προταθεί πολλές περιοχές εφαρμογής των δικτύων αυτών.

Σύγκριση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης του για δίκτυα αισθητήρων

| Πρωτόκολλο Δρομολόγησης                    | Δεδομένο-Κεντρικά | Ιεραρχικά | Βασισμένα στη θέση | Ποιότητα Υπηρεσίας και Ροή Δικτύου | Συγκερασμός Δεδομένων |
|--|-------------------|-----------|--------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Energy Aware Routing for cluster based WSN |                   | +         | ✓                  |                                    |                       |
| Self Organizing Protocol                   |                   | +         |                    |                                    | ✓                     |
| MECN&SMECN                                 |                   |           | +                  |                                    |                       |
| GAF  |                   | +         | +                  |                                    |                       |

|  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
| <b>GEAR</b>                            |   |   | + |   |   |
| <b>Maximum Lifetime Energy Routing</b> |   | + |   | + |   |
| <b>Maximum Lifetime Data Gathering</b> |   |   | + | + |   |
| <b>Minimum Cost Forwarding</b>         |   | ✓ |   | + |   |
| <b>SAR</b>                             |   |   |   | + |   |
| <b>Energy-Aware QoS Routing</b>        |   |   | ✓ | + |   |
| <b>SPEED</b>                           |   |   | ✓ | + |   |
| <b>Flooding &amp; Gossiping</b>        | + |   |   |   |   |
| <b>SPIN</b>                            | + |   |   |   | ✓ |
| <b>Directed Diffusion</b>              | + |   |   |   | ✓ |
| <b>Rumor Routing</b>                   | + |   |   |   | ✓ |
| <b>Energy Aware Routing</b>            | + |   | ✓ |   |   |
| <b>GBR</b>                             | + |   |   |   | ✓ |
| <b>CADR</b>                            | + |   |   |   |   |
| <b>COUGAR</b>                          | + |   |   |   | ✓ |
| <b>ACQUIRE</b>                         | + |   |   |   |   |
| <b>LEACH</b>                           |   | + |   |   | ✓ |
| <b>TEEN&amp;APTEEN</b>                 | ✓ | + |   |   | ✓ |
| <b>PEGASIS</b>                         |   | + |   |   | ✓ |

*Υπόμνημα: + κύριο χαρακτηριστικό    ✓ δευτερέων χαρακτηριστικό*

#### 4.8.1. Sensor Management Protocol (SMP)

Ο σχεδιασμός ενός πρωτόκολλο διαχείρισης επιπέδου εφαρμογής αναλαμβάνει να κάνει διαφανώς την εργασία της μεταφοράς των δεδομένων των χαμηλότερων επιπέδων προς το επίπεδο της εφαρμογής. Το πρωτόκολλο SMP είναι ένα πρωτόκολλο διαχείρισης που προσφέρει το αναγκαίο λογισμικό προκειμένου να εκτελεστούν κάποιοι διαχειριστικοί στόχοι όπως:

- Εισαγωγή των κανόνων που σχετίζονται με τον συγκερασμό των δεδομένων, τη διευθυνσιοδότηση βασισμένη στα χαρακτηριστικά και την ομαδοποίηση των αισθητήριων κόμβων.
- Ανταλλαγή των δεδομένων που σχετίζονται με αλγόριθμους εύρεσης θέσης.
- Χρονικός συγχρονισμός των αισθητήριων κόμβων.
- Να κινήσει τους αισθητήριους κόμβους.
- Να τους θέσει εντός και εκτός λειτουργίας.

- Να θέσει ερωτήματα για την τρέχουσα κατάσταση και τις ρυθμίσεις των αισθητήριων κόμβων, καθώς και να επαναρυθμίσει το ασύρματο δίκτυο.
- Να εκτελέσει την αυθεντικοποίηση, την διανομή των κλειδιών και την ασφάλεια στις επικοινωνίες.

#### **4.8.2. Task assignment and data advertisement protocol**

Μια άλλη σημαντική λειτουργία στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι η διάχυση είτε του ενδιαφέροντος των χρηστών για κάποιες πληροφορίες, είτε της γνωστοποίησης των υπαρχόντων πληροφοριών από τους αισθητήριους κόμβους. Το ενδιαφέρον των χρηστών μπορεί να αφορά ένα χαρακτηριστικό ή ένα φαινόμενο ή ένα γεγονός που προκάλεσε κάποιο ερέθισμα. Από την άλλη πλευρά η γνωστοποίηση των κατεχομένων δεδομένων και πληροφοριών αφορά στην μετάδοση αυτής της πληροφορίας προς τους χρήστες, ώστε αυτοί τελικά να θέσουν ερωτήματα για πληροφορίες που τους ενδιαφέρουν.

Ένα τέτοιο πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής είναι χρήσιμο για τις λειτουργίες των κατωτέρων επιπέδων όπως η δρομολόγηση.

#### **4.8.3. Sensor query and data dissemination protocol**

Το πρωτόκολλο SQDDP παρέχει στους χρήστες εφαρμογές με διεπαφές για να μπορούν να θέτουν ερωτήματα, απαντήσεις στα ερωτήματα και συλλογή των απαντήσεων. Τα ερωτήματα αυτά δεν τίθενται σε συγκεκριμένους κόμβους αλλά χρησιμοποιείται διευθυνσιοδότηση βασισμένη σε χαρακτηριστικά ή στην θέση των κόμβων. [27] [28].

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

### Περιγραφή Λειτουργίας Θερμοκηπίου Με Χρήση Ασύρματων Αισθητήρων

#### 5.1 Εισαγωγή



**Εικόνα 32: Χρήση αισθητήρων σε θερμοκήπιο**

Με τον όρο θερμοκήπιο καλούμε μια δομή, η οποία είναι τοποθετημένη στο έδαφος και έχει ως κύριο μέλημα της την προστασία των καλλιεργειών για την βέλτιστη δυνατή ανάπτυξή τους. Όσο καλύτερη προστασία τόσο ανώτερης ποιότητας θα είναι και η παραγωγή. Η κύρια λειτουργία ενός θερμοκηπίου είναι να παρέχει ένα πιο ευνοϊκό περιβάλλον από το εξωτερικό. Σε αντίθεση με το τι συμβαίνει στη συμβατική γεωργία, όπου οι συνθήκες των καλλιεργειών και της παραγωγικότητας εξαρτώνται από τους φυσικούς πόρους, όπως το κλίμα, το έδαφος, και άλλοι, σε ένα θερμοκήπιο δεν παίζουν σημαντικό ρόλο οι κλιματικοί παράγοντες. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι παρόλο που το θερμοκήπιο έχει την ικανότητα να προστατεύεται από εξωτερικούς παράγοντες μπορεί να προκαλέσει πολλά προβλήματα, λόγω χάρη μύκητες, και υπερβολική υγρασία. Ως εκ τούτου, οι μηχανισμοί για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός περιβάλλοντος θερμοκηπίου είναι πολύ σημαντικοί για την επίτευξη και βελτίωση της παραγωγικότητας.

Τα κύρια στοιχεία που εμπλέκονται σε ένα σύστημα ελέγχου του θερμοκηπίου είναι:

- η θερμοκρασία
- η υγρασία
- η συγκέντρωση CO<sub>2</sub>
- η ακτινοβολία
- το νερό
- τα θρεπτικά συστατικά.

Ακολουθεί μια λεπτομερέστερη αναφορά των παραπάνω στοιχείων:

- ο Η θερμοκρασία: Η ιδανική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 10 ° C και 30 ° C.
- ο Νερό και υγρασία: Η απορρόφηση του νερού από τα φυτά σχετίζεται με ακτινοβολία. Επιπλέον η υπερβολική υγρασία μπορεί να επιφέρει μείωση στην ανάπτυξη των φυτών και μύκητες ενώ η έλλειψη υγρασίας οδηγεί σε αφυδάτωση.
- ο Ακτινοβολία: Είναι ένα απαραίτητο συστατικό για τη φωτοσύνθεση και τον άνθρακα (C).
- ο CO<sub>2</sub> Συγκέντρωση: Η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> αποτελεί ένα ουσιαστικό θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών επιτρέποντας την απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα.
- ο Συστήματα Ελέγχου: Σε ένα σύστημα ελέγχου θερμοκηπίου υπάρχει ένα σημείο ρύθμισης. Η ιδανική τιμή εξαρτάται από την καλλιέργεια και τον τύπο του φυτού.

Τα συστήματα ελέγχου διακρίνονται σε:

- κεντρικά
- κατανεμημένα

Σε ένα κεντρικό σύστημα υπάρχει ένα στοιχείο που είναι υπεύθυνο για τη συλλογή, την επεξεργασία και τον έλεγχο δεδομένων. Ελέγχει τόσο τις τοπικές τιμές όσο και τις κατανεμημένες. Ακόμη και σε ένα μικρό μέρος όπως ένα θερμοκήπιο, είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφορετικές τιμές των κλιματικών παραγόντων. Έτσι, η χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων σε περιβάλλον θερμοκηπίου θα επιτρέψει την παρακολούθηση, σε πραγματικό χρόνο και μια καλύτερη μέτρηση μέσω κόμβων διανομής. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στο προτεινόμενο σύστημα θα πρέπει να αποστέλλονται σε ένα σταθμό βάσης που βρίσκεται έξω από το θερμοκήπιο. Με την εφαρμογή αυτής της αρχιτεκτονικής, κάθε κόμβος θα είναι υπεύθυνος για τη συλλογή στοιχείων μέσω αισθητήρα και για την αποστολή των πληροφοριών στους γειτονικούς κόμβους, έως ότου όλα τα δεδομένα που συλλέγονται να καταλήξουν στο σταθμό βάσης. Για τη σύνδεση του σταθμού βάσης σε ένα WSN, απαιτείται η χρήση μιας πύλης. Με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων αποφεύγονται οι ζημιές από το νερό και οι εισροές. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η χρήση των ασύρματων αισθητήρων και ενεργοποιητών είναι αρκετά συμφέρουσα. Η παροχή τυποποίησης για πρωτόκολλα ασύρματων δικτύων αισθητήρων Zigbee αναπτύσσεται με το πρότυπο IEEE Zigbee, το οποίο όπως προαναφέραμε είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας χαμηλού κόστους και πολύ χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας σε συμπλήρωμα με το πρότυπο IEEE 802.15.4-2003.

## 5.2 Παράδειγμα χρήσης αισθητήρων σε θερμοκήπιο



*Εικόνα 33: Χρήση αισθητήρων σε θερμοκήπιο*

Αναπτύξαμε ένα θερμοκήπιο 18 x 80 μέτρων που ως σύστημα ελέγχου έχει μόνο μία κρεμαστή μονάδα μέτρησης στη μέση. Αξιοσημείωτο είναι ότι το υγρό κλίμα και η πυκνή βλάστηση του θερμοκηπίου είναι παρόμοια με το περιβάλλον της ζούγκλας. Αυτό το είδος του περιβάλλοντος είναι πρόκληση τόσο για τα ηλεκτρονικά κόμβο αισθητήρα, όσο και για το μικρής εμβέλειας IEEE 802.15.4 ασύρματο δίκτυο, του οποίου η εμβέλεια επικοινωνίας είναι πολύ μεγαλύτερη σε ανοικτές περιοχές. Οι κόμβοι βρίσκονται σε απόσταση 15 μέτρων. Στο παράδειγμά μας χρησιμοποιήσαμε έναν ασύρματο κόμβο αισθητήρα Sensinode . Οι αισθητήρες εξοπλίστηκαν με τα συστατικά που απαιτούνται δηλαδή αντιστάσεις, πυκνωτές και ενισχυτή λειτουργίας. Τόσο ο κόμβος όσο και οι δύο μπαταρίες AA 1,5 V (που ενεργούν ως πηγή ισχύος ) βρήκαν καταφύγιο σε ένα πλαστικό κουτί (80 \* 55 \* 33 mm) για να προστατευτούν από την υγρασία. Ο αισθητήρας του σκάφους τοποθετήθηκε στην κορυφή του κουτιού και ευαίσθητα ηλεκτρικά εξαρτήματα προστατεύτηκαν από την υγρασία με ένα πλαστικό ψεκασμό επικάλυψης. Ο κόμβος ήταν εξοπλισμένος με ZigBee ραδιόφωνο, υπό τη λειτουργία του 6LoWPAN πρωτοκόλλου. Οι συσκευές Sensinode βασίζονταν στο πρωτόκολλο 6LoWPAN, η οποία επέτρεπε την μετάδοση του συμπιεσμένου πρωτοκόλλου Internet έκδοση 6 (IPv6) πακέτων μέσω IEEE 802.15.4 δίκτυα. Το πρωτόκολλο NANOSTACK Sensinode παρείχε τη χρήση του 6LoWPAN και ένα πρότυπο Socket API ήταν υπεύθυνο για την πρόσβαση του δικτύου. Λειτουργούσε σε ζώνη ISM 2,4 GHz και προσέφερε 250 kbps ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Σημαντικό θα ήταν να αναφέρουμε ότι η ακρίβεια θερμοκρασίας του αισθητήρα ήταν  $\pm 0,3$  ° C και η ακρίβεια της σχετικής υγρασίας υπό  $\pm 2\%$ . Τοποθετήσαμε αισθητήρες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας σε τέσσερις κόμβους, αλλά η τοποθέτηση αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα ήταν ανέφικτη επειδή θέτει ειδικές απαιτήσεις για την είσοδο τάση και το χρόνο απόκρισης. Η CO<sub>2</sub> τροφοδοσία τάσης του αισθητήρα πρέπει να είναι εντός  $\pm 0,1$  V από τα 5 Volts. Εφαρμόσαμε μια απλή τοπολογία αστέρα, όπου τέσσερις κόμβοι με αισθητήρες θερμοκρασίας, φωτεινότητα και υγρασία που μετρώντας μεταβλητές του κλίματος και να γνωστοποιούνται απευθείας με το κόμβο πύλης. Ο κόμβος πύλης ενήργησε ως συντονιστής και έλαβε τα μετρούμενα δεδομένα από τους κόμβους αισθητήρων. Βρισκόταν στην είσοδο του θερμοκηπίου, διότι η υγρασία κυμαινόταν 20-30%



χαμηλότερα από ό,τι μέσα στο θερμοκήπιο. Ένας φορητός υπολογιστής συνδέθηκε με τον κόμβο πύλης με καλώδιο USB. Το θερμοκηπίο χωρίστηκε σε κάθετους όγκους και οι κόμβοι παρακολουθούνταν ανά τετράγωνο κάθε φορά. Ο πρώτος κόμβος τοποθετήθηκε 490 εκατοστά μακριά από το πλευρικό τοίχωμα του θερμοκηπίου. Ήταν κρεμασμένος στα 120 εκατοστά ύψος και η απόσταση προς το άκρο του πυκνό φύλλωμα της τομάτας ήταν 410 εκατοστά. Ο δεύτερος κόμβος αριθμούσε 180 εκατοστά απόσταση στο πλευρικό τοίχωμα και τοποθετήθηκε σε ύψος από 176 εκατοστά. Αυτή ακριβώς η θέση ήταν ένα σκιερό σημείο. Το μήκος μεταξύ των πρώτων φυτών και τη συσκευή ανερχόταν σε 174 εκατοστά. Ο τρίτος κόμβος βρισκόταν σε 310 cm ύψος μόλις πάνω από τον κόμβο 1. Ο τέταρτος κόμβος ήταν στη μέση του θερμοκηπίου 930 εκατοστά μακριά από το πλευρικό τοίχωμα και κρεμάστηκε σε ύψος 295 εκατοστά. Η απόσταση από τον κόμβο προς την ακμή του φυλλώματος ήταν 135 εκατοστά. Ο συντονιστής ήταν υπεύθυνος για τα στοιχεία, ενώ οι υπόλοιποι κόμβοι ήταν σε θέση να απαντήσουν σε κάθε αίτημα. Έτσι, ο συντονιστής ενεργούσε σαν μια κύρια συσκευή, συλλογής δεδομένων από τους αισθητήρες σε ορισμένες χρονικές περιόδους. [47] [48].

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την εκπόνηση της παρούσας εργασίας κατανοήσαμε τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, καθώς και τα χαρακτηριστικά τους, λόγω χάρη το χρόνο ζωής, την επεκτασιμότητα, την κάλυψη, την ευκολία ανάπτυξης κ.α. Κατανοήσαμε τις βασικές διαφορές τους από τα Ad hoc δίκτυα και μελετήσαμε τους περιορισμούς τους.

Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύσαμε τις βασικές τεχνολογίες των WsN (EnOcean, ZigBee, Bluetooth LE, 6LoWPAN, ISA100.11a, και RuBee), καθώς και τις εφαρμογές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετήσαμε τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο περιβάλλον, τη βιομηχανία, τα υποβρύχια, το στρατό και την υγεία. Οι ασύρματοι αισθητήρες έχουν απλουστεύσει την ζωή μας σε μέγιστο βαθμό και έπεται συνέχεια. Η τεχνολογία εξελίσσεται με ταχύτατους ρυθμούς με συνέπεια να διευκολύνει την καθημερινότητα των ανθρώπων. Ιδιαίτερα στον τομέα της υγείας η εξυπηρέτηση των καρκινοπαθών και γενικότερα των χρόνια πασχόντων είναι εξαιρετική. Με την χρήση των αισθητήρων ο ασθενής βρίσκεται σε συνεχή παρακολούθηση από τον γιατρό του χωρίς να βρίσκεται στο νοσοκομείο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο κατανοήσαμε την αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Γνωρίσαμε τη στοίβα πρωτοκόλλου η οποία αποτελείται από το φυσικό επίπεδο, το ζεύξης δεδομένων, το δικτύου, το μεταφοράς, καθώς και το επίπεδο εφαρμογής. Στη συνέχεια αναλύσαμε καθένα από τα παραπάνω και επικεντρωθήκαμε στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται από κάθε επίπεδο. Ολοκληρώσαμε το κεφάλαιο αυτό με τη διάκριση των πρωτοκόλλων δρομολόγησης σε δεδομένο-κεντρικά, ιεραρχικά και βασισμένα στη θέση των κόμβων, καθώς και τα πρότυπα κάθε κατηγορίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο δημιουργήσαμε ένα WsN δίκτυο σε ένα θερμοκήπιο αποτελούμενο από αισθητήρες ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε τέσσερις κόμβους με σκοπό να ελέγχεται η παραγωγή με τον βέλτιστο τρόπο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1][http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF\\_%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%8D%CF%81%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF_%CE%B1%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD).
- [2] Κίκιρας, Π. (2008). “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων :Αρχιτεκτονική κόμβων και δικτύων”.
- [3][http://el.wikipedia.org/wiki/Ad\\_hoc\\_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF](http://el.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc_%CE%B4%CE%AF%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF).
- [4] [www.enet.gr](http://www.enet.gr) .
- [5] [http://gcogardenconstructions.blogspot.gr/2011\\_12\\_01\\_archive.html](http://gcogardenconstructions.blogspot.gr/2011_12_01_archive.html).
- [6][http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies\\_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20and%20underground%20sensor%20networks.pdf](http://conta.uom.gr/conta/ekpaideysh/metapyxiaka/technologies_diktywn/ergasies/2009/Underwater%20and%20underground%20sensor%20networks.pdf).
- [7] Manjula & Manvi, 2011.
- [8] [www.eng.buffalo.edu/wnesl/people/scott/Papers/WMSN\\_testbed.pdf](http://www.eng.buffalo.edu/wnesl/people/scott/Papers/WMSN_testbed.pdf).
- [9][http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2012/TritsonisAntonios,TertisGeorgios/attached-document-1342087665-580594-5982/TritsonisAntonios\\_TertisGeorgios2012.pdf](http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2012/TritsonisAntonios,TertisGeorgios/attached-document-1342087665-580594-5982/TritsonisAntonios_TertisGeorgios2012.pdf)
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/EnOcean>.
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/ZigBee>.
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- [13] <http://en.wikipedia.org/wiki/6LoWPAN>.
- [14] <http://en.wikipedia.org/wiki/ISA100.11a>.
- [15] <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/DASH7>.
- [17] [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless\\_sensor\\_network](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network)
- [18] <http://courses.ced.tuc.gr/>.
- [19] I. Vasilescu, K. Kotay, D. Rus, M. Dunbabin, and P. Corke. Data collection, storage, retrieval with an underwater sensor network. In Third International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), 2005.
- [20] <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/handle/10889/2083>.

- [21] <http://faculty.kfupm.edu.sa/coe/mayez/ps-coe541/sample-projects/Medical-Applications-Wireless-Sensor-Networks/10.1.1.64.7346.pdf>
- [22] <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4249/1/thesis.pdf>
- [23] [http://www.iatronet.gr/newsarticle.asp?art\\_id=15704](http://www.iatronet.gr/newsarticle.asp?art_id=15704).
- [24] [http://teilar.academia.edu/DimitriosGeorgoulas/Papers/750348/\\_A\\_](http://teilar.academia.edu/DimitriosGeorgoulas/Papers/750348/_A_)
- [25] <http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/3131/1/%CE%9C%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%A4%CE%97%20%CE%A3%CE%A5%CE%9C%CE%A0%CE%95%CE%A1%CE%99%CE%A6%CE%9F%CE%A1%CE%91%CE%A3%20%CE%A4%CE%95%CE%A1%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%A9%CE%9D%20%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%9F%CE%A4%CE%97%CE%A4%CE%A9%CE%9D%20%CE%A3%CE%95%20%CE%94%CE%99%CE%9A%CE%A4%CE%A5%CE%91%20%CE%A4%CE%97%CE%9B%CE%95%CE%AA%CE%91%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%9A%CE%97%CE%A3%20%E2%80%93%20%CE%91%CE%A3%CE%A5%CE%A1%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%91%20%CE%94%CE%99%CE%9A%CE%A4%CE%A5%CE%91%20%CE%91%CE%99%CE%A3%CE%98%CE%97%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%A9%CE%9D.pdf>
- [26] G. Simon, M. Maroti, A. Ledeczki, G. Balogh, B. Kusy, A. Nadas, G. Pap, J. Sallai, and K. Frampton. Sensor network-based countersniper system. In Second International Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys), 2004.
- [27] F.R. Mireles, R.A. Scholtz, Performance of equicorrelated ultra-wideband pulse-position-modulated signals in the indoor wireless impulse radio channel, IEEE Conference on Communications, Computers and Signal Processing.
- [28] R.J. Cramer, M.Z. Win, R.A. Scholtz, Impulse radio multipath characteristics and diversity reception, IEEE International Conference on Communications
- [29] H. Lee, B. Han, Y. Shin, S. Im, Multipath characteristics of impulse radio channels, IEEE Vehicular Technology Conference Proceedings, Tokyo,
- [30] C.J. Le Martret, G.B. Giannakis, All-digital impulse radio for MUI/ISI-resilient multiuser communications over frequency-selective multipath channels, Proceedings of IEEE Military Communications Conference
- [31] K. Sahrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G.J. Pottie, Protocols for self-organization of a wireless sensor network, IEEE Personal Communications, October 2000,
- [32] E. Shih, S. Cho, N. Ickes, R. Min, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan, "Physical layer driven protocol and algorithm design for energy-efficient wireless sensor networks", Proceedings of ACM MobiCom'01, Rome, Italy, July 2001
- [33] S. Lindsey and C. S. Raghavendra, "PEGASIS: Power Efficient GATHERing in Sensor Information Systems," in the Proceedings of the IEEE Aerospace Conference, Big Sky, Montana, March 2002.

- [34] S. Lindsey, C. S. Raghavendra and K. Sivalingam, "Data Gathering in Sensor Networks using the Energy\*Delay Metric", in the Proceedings of the IPDPS Workshop on Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.
- [35] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN : A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," in the Proceedings of the 1st International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing, San Francisco, CA, April 2001.
- [36] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks," in the Proceedings of the 2nd International Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile computing, Ft. Lauderdale, FL, April 2002.
- [37] M. Younis, M. Youssef and K. Arisha, "Energy-Aware Routing in Cluster-Based Sensor Networks", in the Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2002), Fort Worth, TX, October 2002.
- [38] M. Youssef, M. Younis and K. Arisha, "A constrained shortest-path energy-aware routing algorithm for wireless sensor networks," in the Proceedings of the IEEE Wireless Communication and Networks Conference (WCNC 2002), Orlando, FL, March 2002.
- [39] L. Subramanian and R. H. Katz, "An Architecture for Building Self Configurable Systems," in the Proceedings of IEEE/ACM Workshop on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Boston, MA, August 2000.
- [40] L. Li and J. Y Halpern, "Minimum energy mobile wireless networks revisited," in the Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'01), Helsinki, Finland, June 2001
- [41] L. Li and J. Y Halpern, "Minimum energy mobile wireless networks revisited," in the Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC'01), Helsinki, Finland, June 2001
- [42] Y. Yu, D. Estrin, and R. Govindan, "Geographical and Energy-Aware Routing: A Recursive Data Dissemination Protocol for Wireless Sensor Networks," UCLA Computer Science Department Technical Report, UCLA-CSD TR-01-0023, May 2001.
- [43] Andreas Savvides, ChihChieh Han and Mani B. Strivastava, "Dynamic FineGrained Localization in AdHoc Networks of Sensors",
- [44] Peter H. Dana. Global positioning system overview. Website, 2000. <http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps.html>.
- [45] K. Akkaya and M. Younis, "An Energy-Aware QoS Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," in the Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile and Wireless Networks (MWN 2003), Providence, Rhode Island, May 2003.

[46] Paramvir Bahl and Venkata Padmanabhan, “RADAR: An in –building RF-based user location and tracking system”, in proceedings of IEEE INFO-COM, volume 2, pages 775-784, March 2000.

[47] Teemu Ahonen , Reino Virrankoski and Mohammed Elmusrati University of Vaasa  
Τμήμα επιστήμης Η/Υ.

[48] Παγκόσμιο συνέδριο για Η/Υ στη γεωργία.