Εξώφυλλο Αναφοράς Πτυχιακής Εργασίας

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων

ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ

Πτυχιακή εργασία

"Υλοποίηση ασύρματου βρόγχου αυτοματισμού με αναμετάδοση"

Παπαγιαννάκης Νικόλαος ΑΜ :1135

Βραχασωτάκης Ιωάννης ΑΜ : 1109

Εισηγητής: Μιαουδάκης Ανδρέας

Ευχαριστίες

Η μελέτη και η έρευνα αυτή οφείλεται στην βοήθεια κάποιων ανθρώπων που θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά εδώ. Θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον Κ. Ανδρέα Μιαουδάκη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, την καθοδήγηση του, και τις άψογες συνθήκες συνεργασίας μαζί του, αλλά και την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο μελέτης όπως είναι τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Δεν θα μπορούσαμε να παραλείψουμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους μας φιλοξένησαν στις οικίες τους και μας βοήθησαν με τον τρόπο τους στην διεξαγωγή των μετρήσεων, δηλαδή τις οικογένειες Κουρεπίνη, Κύρου και Κωνσταντινίδη . Και πάνω απ'όλα, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας για την ηθική και υλική υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Η παρούσα πτυχιακή αφιερώνεται στους γονείς μας.

Abstract

The current thesis studied the basis of the operation of Wireless Sensor Networks (WSN's), the environments and the areas that can be applied in modern society, and the ways that could be used to make our lives easier. For the best understanding of the above we proceeded to develop such a wireless network using the Xbee/Xbee Pro RF Modules powered by Digi (provided by the Technological Educational Institute of Crete) and the IEEE 802.15.4 protocol. Through experimental measurements, we recorded and now present our results, in order to demonstrate the quality of communication between nodes in different environments and situations.

Σύνοψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε η βάση της λειτουργίας των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (WSN's),τα περιβάλλοντα και οι τομείς εφαρμογής τους στην σύγχρονη κοινωνία καθώς και οι τρόποι με τους οποίους θα μπορούσαν μελλοντικά να χρησιμοποιηθούν ώστε να κάνουν τη ζωή μας πιο εύκολη. Για την βέλτιστη κατανόηση των παραπάνω προχωρήσαμε στην ανάπτυξη ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου χρησιμοποιώντας τους πομποδέκτες Xbee και Xbee Pro της εταιρείας Digi (που μας παρείχε το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης) και το πρωτόκολλο επικοινωνίας IEEE 802.15.4.Μέσω πειραματικών μετρήσεων, κατεγράφησαν και παρουσιάζονται αποτελέσματα που μας καταδεικνύουν την ποιότητα της επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων σε διαφορετικά περιβάλλοντα και καταστάσεις.

Πίνακας Περιεχομένων

Εξώφυλλο Αναφοράς Πτυχιακής Εργασίας.....1

Ευχαριστίες.....2

Abstract.....3

Σύνοψη.....4

Πίνακας Περιεχομένων.....5

Πίνακας Εικόνων.....8

Λίστα Πινάκων.....10

1 Εισαγωγή.....11

1.1 Περίληψη.....11

1.2 Κίνητρο για τη διεξαγωγή της εργασίας.....11

1.3 Σκοπός και στόχοι της εργασίας.....11

1.4 Δομή Εργασίας.....12

2 Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα.....13

2.1 Βασικοί στόχοι των ασύρματων δικτύων.....14

2.2 Πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων.....14

2.3 Μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων.....15

2.4 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων.....16

2.5 Τεχνολογίες WLAN.....17

2.6 WPAN (Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο Περιοχής).....20

2.7 Γενιές Ασύρματων Δικτύων.....21

3 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....25

3.1 Γενική Επισκόπηση.....25

3.1.1 Χαρακτηριστικά Δικτύων.....25

3.1.2 Δικτυακές Εφαρμογές.....26

3.1.2.1 Περιβαλλοντικός έλεγχος.....27

3.1.2.2 Στρατιωτικές εφαρμογές.....29

3.1.2.3 Εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης.....29

3.1.2.4 Έλεγχος βιομηχανικής διαδικασίας.....30

3.1.2.5 Ασφάλεια και παρακολούθηση.....30

3.1.2.6 Έξυπνα σπίτια.....30
3.1.3 Αντικειμενικοί Στόχοι Σχεδιασμού Δικτύου.....31
3.1.4 Προκλήσεις στο Σχεδιασμό Δικτύων.....33

3.2 Τεχνολογικό Υπόβαθρο.....34
3.2.1 MEMS Technology.....34
3.2.2 Wireless Communication Technology.....35
3.2.3 Hardware and Software Platforms.....36
3.2.4 Πρότυπα Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.....36

4 Αρχιτεκτονικές.....37

4.1 Εισαγωγή.....37
4.2 Αρχιτεκτονικές Δικτύων WSN.....37
4.2.1 Δομή Κόμβων Αισθητήρων.....37
4.2.2 Αρχιτεκτονικές Δικτύων.....38
4.2.2.1 Επίπεδη αρχιτεκτονική (Flat Architecture).....40
4.2.2.2 Ιεραρχική αρχιτεκτονική (Hierarchical Architecture).....40
4.3 Ταξινομήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....42
4.4 Στοίβα Πρωτοκόλλου για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.....44
4.4.1 Στρώμα Εφαρμογής.....45
4.4.2 Στρώμα Μεταφοράς.....46
4.4.3 Στρώμα Δικτύου.....46
4.4.4 Στρώμα Διασύνδεσης δεδομένων.....47
4.4.5 Φυσικό Στρώμα (Physical Layer).....48

5 Πρότυπα Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων.....49

5.1 Εισαγωγή.....49
5.2 Το πρότυπο IEEE 802.15.4 49
5.2.1 Γενική Επισκόπηση.....49
5.2.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου.....50

5.2.3 Το Φυσικό Επίπεδο.....50
5.2.4 Το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσων (MAC).....51
5.3 Το Πρότυπο Zigbee.....57
5.3.1 Γενική Επισκόπηση.....57
5.3.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου.....58
5.3.3 Επίπεδο Δικτύου.....59
5.3.4 Επίπεδο Εφαρμογής.....61
5.3.5 Ασφάλεια.....62

6 Xbee/Xbee Pro RF modules.....64

6.1 Xbee/Xbee Pro RF Modules.....64
6.2 Λειτουργία RF Module.....66
6.2.1 Σειριακή Επικοινωνία.....66
6.2.1.1 UART Ροή Δεδομένων.....67
6.2.1.2 Έλεγχος Ροής Δεδομένων.....67
6.2.2 ADC και υποστήριξη ψηφιακής γραμμής εισόδου/εξόδου.....68
6.2.2.1 Μορφή Δεδομένων I/O.....69
6.2.2.2 Υποστήριξη API).....70
6.2.2.3 Υποστήριξη λειτουργίας Ύπνου (Sleep).....70
6.2.2.4 Υποστήριξη DIO Pin Change Detect (εντοπισμός αλλαγής κατάστασης DIO Pin).....70
6.2.2.5 Sample Rate (Interval) – Μεσοδιάστημα Ρυθμού Δειγματοληψίας.....71
6.2.2.6 Line Passing.....71
6.2.3 Δικτύωση.....74
6.2.4 Διευθυνσιοδότηση.....74
6.2.4.1 Unicast Mode.....75
6.2.4.2 Broadcast Mode.....75
6.2.5 Καταστάσεις Λειτουργίας.....76

7 Πειραματική Διαδικασία.....77
7.1 Μετρήσεις στις Βασιλειές
7.2 Μετρήσεις στην Κηπούπολη
7.3 Μετρήσεις στην Αγ.Πελαγία

8 Χρησιμότητα και μελλοντική χρήση
8.1 Εισαγωγή
8.2 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων για εκτέλεση εξειδικευμένων καθηκόντων
8.3 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων σε δύσκολα περιβάλλοντα

Ορολογία
Βιβλιογραφία

[1] Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective {Jun Zheng , Abbas Jamalipour}

[2] Wireless Sensor and Actuator Networks: Algorithms and Protocols for Scalable Coordination and Data Communication {Amiya Nayak , Ivan Stojmenovic}

[3] Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols {Edgar H. Callaway}

[4] Smart Environments : Technologies, Protocols, and Applications { D.J. Cook and S.K. Das, John Wiley} , New York, 2004

[5] XBee/XBee-PRO RF Modules , Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol , Digi International Inc

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_personal_area_network#Wireless

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.15.4-2006

[8] http://www.sensor-networks.org/

[9] http://khedo.wordpress.com/2008/07/09/little-sensors-are-heavyweights-in-rainforest-information-gathering/

[10] http://www.elec.york.ac.uk/research/comms/wireless/sensorNets.html

Πίνακας Εικόνων

Σχήμα 2.1 : Οι συχνότητες λειτουργίας των WLAN

Σχήμα 2.2 : Ο σταθμός Α δεν μπορεί να ανιχνεύσει την μετάδοση του σταθμού C, με αποτέλεσμα αν αποφασίσουν και οι δύο να μεταδώσουν προς τον Β να προκύψει μία σύγκρουση

Σχήμα 2.3 : Σύστημα επικοινωνίας δικτύων MANET

Σχήμα 2.4 :Σχηματική σύγκριση των στρωμάτων των Standards HiperLAN και 802.11 με τα στρώματα της αρχιτεκτονικής OSI

Σχήμα 2.5 : Σύστημα επικοινωνίας δικτύων WPAN

Εικόνα 3.1 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που ελέγχει το μικροκλίμα μέσα σε δάσος

Εικόνα 3.2 : Ασύρματοι αισθητήρες που ελέγχουν την ποιότητα του αέρα

Εικόνα 3.3 : Ασύρματοι αισθητήρες ανίχνευσης πυρκαγιάς

Σχήμα 3.4 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης

Εικόνα 3.5 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για έξυπνα σπίτια

Εικόνα 3.6 : Μικροφωνικός αισθητήρας τεχνολογίας MEMS

Σχήμα 4.1 : Τυπική Δομή Κόμβων Αισθητήρων

Σχήμα 4.2 : Αρχιτεκτονική Δικτύων Αισθητήρων

Σχήμα 4.3 : Αρχιτεκτονική Δικτύου απλού άλματος (single hop)

Σχήμα 4.4 : Επίπεδη αρχιτεκτονική

Σχήμα 4.5 : Αρχ/κή συμπλέγματος απλού άλματος

Σχήμα 4.6 : Αρχ/κή συμπλέγματος πολλαπλού άλματος

Σχήμα 4.7 : Αρχιτεκτονική συμπλέγματος πολλαπλών βαθμίδων

Σχήμα 4.8 : Στοίβα Πρωτοκόλλου WSN's

Σχήμα 5.1 : Η στοίβα πρωτοκόλλου των προτύπων IEEE 802.15.4 και ZigBee

Σχήμα 5.2 : Τοπολογίες δικτύου που υποστηρίζονται από το IEEE 802.15.4 MAC layer

Σχήμα 5.3 : Δομή υπερπλαισίου

Σχήμα 5.4 : Δομές μετάδοσης δεδομένων σε Beacon - Enabled Networks

Σχήμα 5.5 : Δομές μετάδοσης δεδομένων σε Nonbeacon - Enabled Networks

Σχήμα 5.6 : Αρχιτεκτονική επιπέδου λειτουργίας και στοίβα πρωτοκόλλου ZigBee

Σχήμα 5.7 : Τοπολογία Αστέρα

Σχήμα 5.8 : Τοπολογία Δέντρου

Σχήμα 5.9 : Τοπολογία Πλέγματος

Σχήμα 5.10 : Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής ZigBee

Εικόνα 6.1 : Τα Xbee/Xbee Pro 802.15.4 OEM RF Modules

Σχήμα 6.2 : Διάγραμμα Ροής Δεδομένων Συστήματος σε περιβάλλον διεπαφής UART

Σχήμα.6.3 : Πακέτο δεδομένων UART 0x1F (αριθμός 31 σε hex) όπως μεταδίδεται δια μέσου της ενότητας RF

Σχήμα 6.4 :.Εσωτερικό Διάγραμμα Ροής Δεδομένων

Σχήμα 6.5 : Κεφαλίδα δεδομένων

Σχήμα 6.6 : Δείγμα Δεδομένων

Εικόνα 6.7 : Αρχιτεκτονική Peer-to-Peer

Εικόνα 6.8 : Καταστάσεις λειτουργίας των RF Modules

Εικόνα 7.1 : Xbee PRO RF Modules μαζί με τις πλακέτες RS-232 και USB

Εικόνα 7.2: Στιγμιότυπο εφαρμογής X-CTU

Εικόνα 7.3 : Τα Pins της διεπαφής RS-232

Εικόνα 7.4 : Βασιλειές, απεικόνιση (μέσω Google Maps) της περιοχής και των σημείων που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις

Εικόνα 7.5 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων-Σημείο τοποθέτησης σταθερού εξοπλισμού

Εικόνα 7.6 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων

Εικόνα 7.7 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων

Εικόνα 7.8 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων

Εικόνα 7.9 : Βασιλειές-Φορητός Εξοπλισμός Μετρήσεων

Εικόνα 7.10 : Κηπούπολη, απεικόνιση (μέσω Google Maps) της περιοχής και των σημείων που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις

Εικόνα 7.11 : Κηπούπολη- Σημείο τοποθέτησης σταθερού εξοπλισμού

Εικόνα 7.12 : Κηπούπολη-Περιοχή Μετρήσεων

Εικόνα 7.13 : Κηπούπολη-Περιοχή Μετρήσεων

Εικόνα 8.1 : Παράδειγμα εφαρμογής WMSN με χρήση οπτικοακουστικών αισθητήρων σε πεδίο μάχης

Εικόνα 8.2 : Παράδειγμα εφαρμογής WSAN με ρομποτικό ελικόπτερο που πραγματοποιεί χαρτογράφηση.

Σχήμα 8.3 : Υποβρύχιο Ασύρματο Δίκτυο Αυτοματισμού 2 Διαστάσεων

Σχήμα 8.4 : Υπόγειο Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1: Οι τύποι και τα χαρακτηριστικά του 802.11

Πίνακας 2.2 : Σύγκριση χαρακτηριστικών κυψελοειδούς τηλεφώνου, ασύρματου τηλεφώνου και ασύρματου τοπικού δικτύου

Πίνακας 5.1 : Ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στο IEEE 802.15.4 MAC Layer

Πίνακας 5.2 : Ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα δικτύου και εφαρμογής του ZigBee

Πίνακας 6.1 : Μέγιστες αποστάσεις επικοινωνίας μεταξύ των modules

Πίνακας 6.2 : Ενεργειακή κατανάλωση κατά την εκπομπή, λήψη και απενεργοποίηση των modules

Πίνακας 6.3 : Προδιαγραφές Xbee/Xbee Pro RF Modules

Πίνακας 6.4 : Λειτουργίες των pin και οι αντίστοιχοι αριθμοί και εντολές τους

Πίνακας 6.5 : Διαμόρφωση Unicast δικτύου (με χρήση διευθυνσιοδότησης 16-bit)

Πίνακας 7.1 : Αποτελέσματα μετρήσεων στις Βασιλειές

Πίνακας 7.2 : Αποτελέσματα μετρήσεων στην Κηπούπολη

Πίνακας 7.3 : Αποτελέσματα μετρήσεων στην Αγ.Πελαγία

Κεφάλαιο 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Περίληψη

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSN's) είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία η οποία υπόσχεται ένα ευρύ φάσμα από πιθανές εφαρμογές τόσο σε πολιτικές όσο και σε στρατιωτικές περιοχές. Ένα WSN αποτελείται συνήθως από ένα μεγάλο αριθμό χαμηλού - κόστους, χαμηλής - ισχύος πολυλειτουργικών κόμβων που έχουν αναπτυχθεί σε μια περιοχή ενδιαφέροντος. Αυτοί οι κόμβοι αισθητήρων είναι μικροί σε μέγεθος αλλά είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες ενσωματωμένους μικροεπεξεργαστές, και πομποδέκτες ραδιόφωνου.

Ως εκ τούτου, δεν έχουν μόνο «αίσθηση», αλλά και την ικανότητα να επεξεργάζονται δεδομένα και να επικοινωνούν μεταξύ τους. Επικοινωνούν σε κοντινές αποστάσεις μέσω ενός ασύρματου μέσου και συνεργάζονται για να επιτευχθεί ένα κοινό έργο, για παράδειγμα, η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η στρατιωτική επιτήρηση, και ο βιομηχανικός έλεγχος. Σε πολλές εφαρμογές WSN, η ανάπτυξη των κόμβων

αισθητήρων γίνεται με τρόπο αδόμητο (ad hoc), χωρίς προσεκτική μηχανική και προδιαγεγραμμένο πλάνο. Μόλις αναπτυχθούν,οι κόμβοι αισθητήρων πρέπει να είναι σε θέση να οργανωθούν αυτόνομα σε ένα ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας.

Συγκεκριμένα, οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως τροφοδοτούνται μέσω μπαταρίας και πρέπει να λειτουργούν χωρίς παρακολούθηση για σχετικά μεγάλες περιόδους. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι πολύ δύσκολο ή και αδύνατο να αλλάξουν ή να επαναφορτιστούν οι μπαταρίες των κόμβων. Διακρίνονται από τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα καθώς χαρακτηρίζονται από πυκνότερα επίπεδα ανάπτυξης των κόμβων, υψηλότερη αναξιοπιστία των κόμβων αισθητήρων, και περιορισμούς στους υπολογισμούς την ισχύ και τη μνήμη.

Αυτά τα μοναδικά χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί του παρόντος παρουσιάζουν πολλές νέες προκλήσεις για την ανάπτυξη και την εφαρμογή των WSN.

1.2 Κίνητρο για τη Διεξαγωγή της Εργασίας

Βασικό κίνητρο για τη διεξαγωγή της εργασίας αυτής αποτέλεσε το ενδιαφέρον μας για τα ασύρματα δίκτυα. Επιπροσθέτως τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων ως αναδυόμενη και πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, με πολλές και ενδιαφέρουσες εφαρμογές κέντρισαν το ενδιαφέρον μας. Έτσι, αποφασίσαμε να μελετήσουμε και να αναλύσουμε τις αρχές λειτουργίας τους αλλά και να αποκτήσουμε πρακτική επαφή με το αντικείμενο.

1.3 Σκοπός και Στόχοι Εργασίας

1. Εισαγωγή στην έννοια των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.
2. Ανάλυση των αρχιτεκτονικών, των πρωτοκόλλων και των λειτουργιών τους.
3. Ανάπτυξη μοντέλου Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων ,τριβή με την παραμετροποίηση και την λειτουργία των RF Modules μέσω πειραματικών μετρήσεων και εξαγωγή συμπερασμάτων.
4. Παρουσίαση μελλοντικής εξέλιξης στη χρησιμότητα των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.

1.4 Δομή Εργασίας

Στα παρακάτω κεφάλαια πραγματοποιείται αρχικά μια εισαγωγή στην έννοια των **Ασύρματων Τοπικών Δικτύων** (WLAN's).Έπειτα προχωρούμε σε μελέτη της λειτουργίας των **Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων** (WSN's) , των αρχιτεκτονικών των δικτύων αυτών και των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιούνται στη επικοινωνία μεταξύ των κόμβων. Τέλος παρουσιάζεται η διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων και τα αποτελέσματα αυτών ενώ υπάρχει και αναφορά σε σημερινές αλλά και μελλοντικές χρήσεις των δικτύων WSN**.**

Αναλυτικά η δομή της εργασίας έχει ως εξής :

Κεφάλαιο 2 : Εισαγωγή στα Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα και αναφορά στις εφαρμογές τους, στα πρότυπα και τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δικτύων αυτών.

Κεφάλαιο 3 : Εισαγωγή στην έννοια των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά τους καθώς και τα πεδία εφαρμογής τους σήμερα. Τέλος γίνεται αναφορά και περιγραφή των τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται από τα WSN.

Κεφάλαιο 4 :Περιγραφή των αρχιτεκτονικών των WSN καθώς και της δομής των κόμβων αυτών. Επίσης αναλύεται η στοίβα πρωτοκόλλου και τα πέντε στρώματα πρωτοκόλλου(εφαρμογής, μεταφοράς, δικτύου, διασύνδεσης δεδομένων, φυσικό).

Κεφάλαιο 5 :Σε αυτό το κεφάλαιο επικεντρωνόμαστε στην τυποποίηση των WSN και συγκεκριμένα αναλύουμε τις δύο κύριες οδηγίες (τα πρότυπα IEEE 802.15.4 και ZigBee).

Κεφάλαιο 6 :Περιγραφή της λειτουργίας και των προδιαγραφών των RF Modules(Xbee/Xbee Pro της εταιρείας Digi) που χρησιμοποιήσουμε στην πειραματική διαδικασία.

Κεφάλαιο 7 :Παρουσίαση των μετρήσεων της πειραματικής διαδικασίας μέσω εικόνων και στατιστικών δειγμάτων και έκθεση συμπερασμάτων.

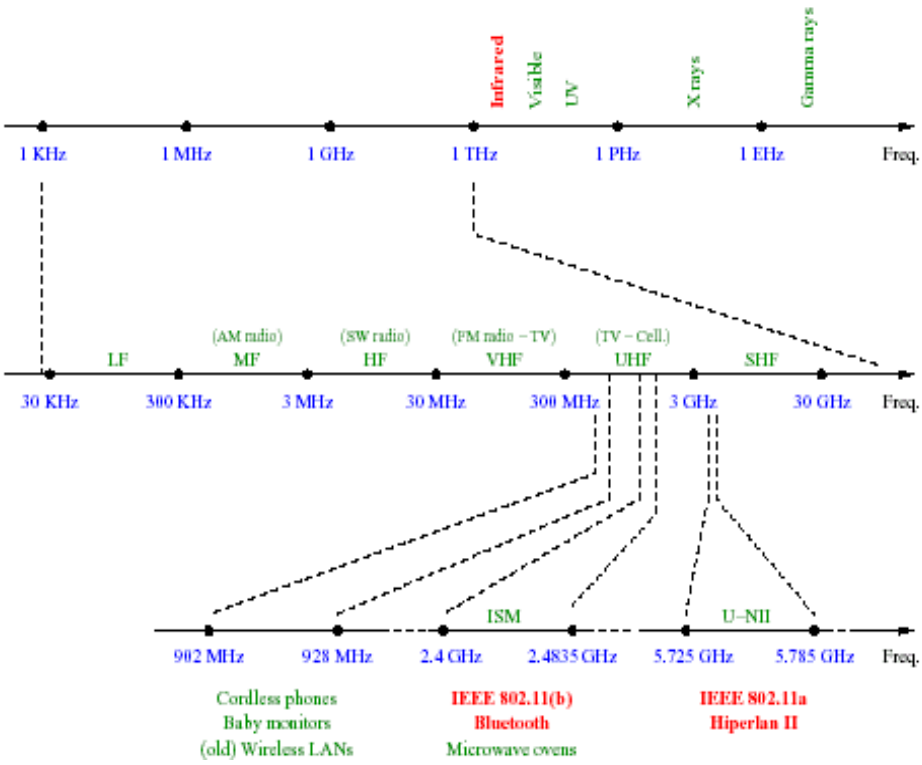
Κεφάλαιο 8 : Τέλος, αναφερόμαστε στη σημερινή χρησιμότητα των WSN καθώς και στους δύο βασικούς πυλώνες στους οποίους πραγματοποιείται έρευνα και θα στραφεί μελλοντικά η χρήση τους, δηλαδή την εκτέλεση εξειδικευμένων καθηκόντων και την εφαρμογή σε δύσκολα περιβάλλοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΤΟΠΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο (WLAN : Wireless Local Area Network) είναι ένα σύστημα επικοινωνίας, το οποίο καθιστά δυνατή τη διασύνδεση (και μεταφορά δεδομένων) - μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων- κινητών ή ακίνητων χρηστών. Η συνηθισμένη ακτίνα δράσης ενός τέτοιου δικτύου εκτείνεται σε αρκετά μέτρα , η οποία είναι ικανή να διασυνδέσεις από ορόφους μιας εταιρίας μέχρι τα κτίρια μιας πανεπιστημιούπολης.

Η πρώτη προσπάθεια για τη σύνδεση των τεχνολογιών δικτύου με την επικοινωνία μέσω ραδιοκυμάτων ξεκίνησε το 1971 με την υλοποίηση ενός project του πανεπιστημίου της Hawaii, το οποίο ονομάστηκε ALOHANET. Το ALOHANET ήταν ένα σύστημα όπου απομακρυσμένοι υπολογιστές επικοινωνούσαν μεταξύ τους μέσω ενός κεντρικού υπολογιστή χωρίς την χρησιμοποίηση των συμβατικών τηλεφωνικών καλωδίων, αλλά με τη βοήθεια ραδιοκυμάτων.

Το 1985, στην Αμερική, ο οργανισμός FCC (Federal Communications Commission) – ο οποίος καθορίζει το εύρος συχνοτήτων που θα χρησιμοποιείται για κάθε τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή - εξουσιοδότησε την κοινή χρήση του φάσματος συχνοτήτων ISM (Instrumentation, Scientific, and Medical) στο οποίο στηρίχθηκε η μελλοντική κατασκευή όλων των τεχνολογιών WLAN.



Σχήμα 2.1 : Οι συχνότητες λειτουργίας των WLAN.

Για την κατασκευή ενός WLAN σε μία χώρα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η νόμιμη χρήση των συχνοτήτων αυτών από τους αντίστοιχους οργανισμούς της συγκεκριμένης χώρας.

Στα τέλη του 1980, το IEEE ξεκίνησε την ανάπτυξη του πρώτου Standard για WLANs, το οποίο ολοκληρώθηκε τελικά το 1977 και είναι γνωστό ως IEEE 802.11.

2.1 Βασικοί στόχοι των ασύρματων δικτύων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικοί στόχοι των ασύρματων δικτύων :

- Να είναι ομοιόμορφη η λειτουργία των προϊόντων WLAN και να παρέχει λειτουργικότητα
- Να επιτευχθεί χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (μπαταρία), με χρήση κανόνων διαχείρισης ενέργειας ανάλογα με τη λειτουργία

- Να μην χρειάζεται ειδική άδεια για την εκπομπή (license-free band)
- Να χρησιμοποιήσει εύρωστη και σταθερή τεχνολογία μετάδοσης
- Να είναι εύκολο προς τον καθένα να το χρησιμοποιήσει και να μην επιβάλει πολυπλοκότητα στη διαχείριση του δικτύου
- Να προσφέρει λειτουργικότητα με τα αντίστοιχα ενσύρματα τοπικά δίκτυα (υποστηρίζοντας ίδια πρωτόκολλα, υπηρεσίες και μηχανισμούς)
- Να παρέχει ασφάλεια και δημοτικότητα (privacy), ώστε να μην μπορεί να έχει πρόσβαση ο ένας στα δεδομένα του άλλου
- Να χρησιμοποιεί χαμηλή ισχύ εκπομπής, ώστε ένα τέτοιο δίκτυο να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο βλαβερό για τον άνθρωπο

2.2 Πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων

Μερικά από τα κυριότερα πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων είναι τα εξής :

- Φορητότητα (mobility) : Τα WLAN μπορούν να παρέχουν τη δυνατότητα στους χρήστες για πρόσβαση σε πληροφορίες ενώ βρίσκονται σε κίνηση. Αυτή η ευχέρεια στην κίνηση υποστηρίζει την παραγωγικότητα και τις ευκαιρίες για εξυπηρέτηση οι οποίες δεν είναι δυνατές με ενσύρματα δίκτυα. Οι εφαρμογές που στηρίζονται στην κινητικότητα κατά τη χρήση συσκευών σε ένα WLAN συμπεριλαμβάνουν και αυτές που στηρίζονται στη πρόσβαση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο- τα οποία είναι συνήθως αποθηκευμένα σε βάσεις δεδομένων.
- Ταχύτητα και Ευελιξία εγκατάστασης : Η εγκατάσταση ενός WLAN εξαλείφει την ανάγκη της χρήσης των καλωδίων η οποία απαιτεί συνήθως κόπο και χρόνο, ενώ η ασύρματη τεχνολογία επιτρέπει τη διασύνδεση δικτύων η οποία υπό άλλες συνθήκες θα ήταν αδύνατη.
- Μειωμένο κόστος κτήσης : Ενώ η αρχική επένδυση που απαιτείται για τον εξοπλισμό με ένα WLAN μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να είναι υψηλότερη από το αντίστοιχο κόστος για μια ενσύρματη σύνδεση, το συνολικό κόστος λειτουργίας μπορεί να είναι σημαντικά χαμηλότερο, καθώς τα μακροπρόθεσμα κέρδη είναι πολύ μεγαλύτερα σε δυναμικά περιβάλλοντα όπου απαιτούνται πολύ συχνές μετακινήσεις και αλλαγές.
- Συμβατότητα : Τα WLAN μπορούν να μεταβληθούν σε μια ποικιλία από τύπους για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες συγκεκριμένων εγκαταστάσεων και εφαρμογών. Οι διαμορφώσεις αλλάζουν εύκολα, καθώς και επεκτείνονται από μικρά δίκτυα κατάλληλα για έναν μικρό αριθμό χρηστών μέχρι πλήρως ανεπτυγμένα δίκτυα που καλύπτουν εκατοντάδες χρήστες.
- Ασφάλεια: Ο έλεγχος και η διαχείριση της πρόσβασης στο ασύρματο δίκτυό σας είναι μέγιστης σημασίας για την επιτυχία του. Οι εξελιγμένες δυνατότητες της τεχνολογίας Wi-Fi προσφέρουν ισχυρή προστασία, ώστε τα δεδομένα σας να είναι εύκολα προσβάσιμα μόνο από τους χρήστες στους οποίους επιτρέπετε την πρόσβαση.

2.3 Μειονεκτήματα των ασύρματων δικτύων

Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ραδιοκυμάτων και υπέρυθρης ακτινοβολίας) για τη μετάδοση των σημάτων κάνουν τα WLAN ευπαθή σε πολλά φαινόμενα παρεμβολής τα οποία αλλοιώνουν σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό την επικοινωνία των ασύρματων χρηστών. Τα κυριότερα από αυτά τα προβλήματα είναι :

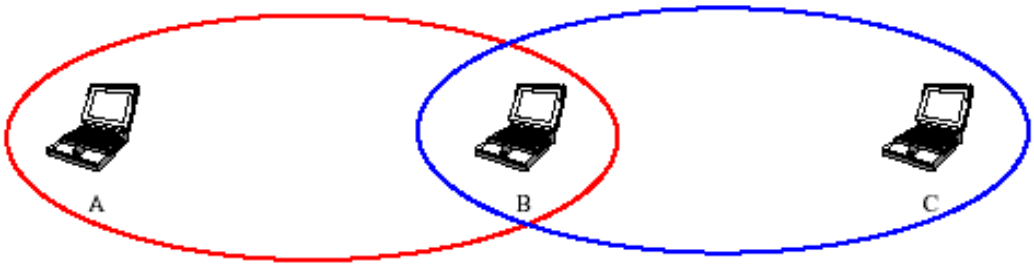
- Παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρόμων : Τα μεταδιδόμενα σήματα μπορούν να συνδυαστούν με τα ανακλώμενα από τις διάφορες επιφάνειες ή εμπόδια με αποτέλεσμα την φθορά ή την καταστροφή του σήματος που ανιχνεύεται από τον δέκτη. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως «Παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρόμων» ή «πολύοδη διάδοση» (multipath propagation). Ο συνολικός χρόνος καθυστέρησης μεταξύ των ανακλώμενων σημάτων σε σχέση με το αρχικό σήμα αναφέρεται ως delay spread.

- Path Loss : Το φαινόμενο του path loss μεταξύ πομπού και δέκτη είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός WLAN. Τα αναμενόμενα επίπεδα του path loss, τα οποία βασίζονται στην απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη, παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για τον καθορισμό των επιπέδων στην ισχύ της εκπομπής, στην ευαισθησία του δέκτη και στον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR). Το πραγματικό path loss εξαρτάται από τη συχνότητα μετάδοσης και αυξάνει εκθετικά με την αύξηση της απόστασης μεταξύ πομπού και του δέκτη. Για τυπικές εφαρμογές σε κλειστούς χώρους το path loss αυξάνεται περίπου 20 dB ανά 100 πόδια.

- Διαχείριση Ενέργειας : Οι περισσότερες συσκευές από την πλευρά του χρήστη λειτουργούν με μπαταρίες που έχουν καθορισμένη διάρκεια ζωής. Η χρήση τους σε αυτές τις τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές μειώνουν την αυτονομία τους. Έτσι οι περισσότεροι χρήστες δε θα ήταν ευχαριστημένοι αν ήταν υποχρεωμένοι να φορτίζουν συχνά τις μπαταρίες των συσκευών τους, ενώ υπάρχουν και περιπτώσεις που είναι σχεδόν αδύνατη η φόρτιση του υπολογιστή. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνει επιλογή προϊόντων που κάνουν σωστή διαχείριση ενέργειας, ώστε να μεγιστοποιείται η αυτονομία των μπαταριών και να ελαχιστοποιείται η αντικατάσταση τους .

- Προστασία της υγείας των χρηστών: Το θέμα της προστασίας (safety) του χρήστη δεν έχει σημασία για τα ενσύρματα δίκτυα σε αντίθεση με τα ασύρματα. Τα ασύρματα LAN που χρησιμοποιούν την τεχνική μετάδοσης με υπέρυθρες ακτίνες, θα πρέπει να περιορίσουν την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος στο ανώτερο όριο των 2 Watts, για να αποφευχθούν ανεπιθύμητα οφθαλμολογικά προβλήματα .Η ισχύς του εκπεμπόμενου σήματος από ένα πομπό ραδιοσυχνοτήτων (RF: Radio Frequency) των WLAN είναι πολύ μικρότερη (συνήθως μεταξύ 50 και 100 m Watt) από αυτή που εκπέμπει ένα κοινό κινητό τηλέφωνο (600 mWatt – 3 Watt). Έτσι καθώς η ισχύς των RF σημάτων μειώνεται με την αύξηση της απόστασης από τον πομπό, ελαχιστοποιείται ακόμα περισσότερο η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που δέχονται οι χρήστες που βρίσκονται στην περιοχή των ασύρματων δικτύων.

- Το πρόβλημα του κρυμμένου κόμβου: Ένας συνηθισμένος περιορισμός στην απόδοση των WLAN είναι το πρόβλημα που προκύπτει από την περιορισμένη ακτίνα δράσης των ραδιοκυμάτων και είναι γνωστό ως ‘hidden node problem’. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει όταν στο σύστημα υπάρχει ένας σταθμός που δεν μπορεί να ανιχνεύσει την μετάδοση ενός άλλου σταθμού ώστε να αναγνωρίσει ότι το μέσο χρησιμοποιείται. Στο επόμενο σχήμα, ο σταθμός Α θέλει να μεταδώσει στον σταθμό Β, όμως δεν μπορεί να ανιχνεύσει ότι και ο σταθμός C θέλει να μεταδώσει, με αποτέλεσμα να προκύψει σύγκρουση.



Σχήμα 2.2: Ο σταθμός Α δεν μπορεί να ανιχνεύσει την μετάδοση του σταθμού C, με αποτέλεσμα αν αποφασίσουν και οι δύο να μεταδώσουν προς τον Β να προκύψει μία σύγκρουση.

2.4 Εφαρμογές ασύρματων δικτύων

Ανάλογα με τους χώρους στους οποίους μπορούμε να δούμε οφέλη από τη χρήση των WLAN συμπεριλαμβάνονται και οι παρακάτω:

- Επιχειρήσεις: Με ένα WLAN οι εργαζόμενοι μπορούν να εκμεταλλευθούν το κινητό δίκτυο για e-mail, πρόσβαση σε αρχεία και αναζήτηση στο Internet, ανεξάρτητα από την περιοχή που βρίσκεται το γραφείο, αλλά και από το αν βρίσκονται στο γραφείο ή όχι.

- Εκπαίδευση: Με τη χρήση WLAN από τα ακαδημαϊκά ινστιτούτα οι φοιτητές μπορούν να έχουν πρόσβαση μέσω laptops στο πανεπιστημιακό δίκτυο ενώ γίνεται πιο προσιτή και εφαρμόσιμη η Τήλε-εκπαίδευση.

- Υγεία: Με τη χρήση ασύρματων φορητών υπολογιστών για την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο, οι εργαζόμενοι στον τομέα υγείας αυξάνουν την παραγωγικότητά τους και την ποιότητα φροντίδας των ασθενών, καθώς εξαλείφονται προβλήματα όπως οι καθυστερήσεις και η γραφειοκρατία.

- Επενδύσεις: Με ένα φορητό υπολογιστή ο οποίος συνδέεται με ένα ασύρματο τοπικό δίκτυο, οι επενδυτές μπορούν να δεχθούν πληροφορίες για τις τιμές από μια βάση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, βελτιώνοντας έτσι την ταχύτητα και την ποιότητα των συναλλαγών

2.5 Πρότυπα WLAN

Για την υλοποίηση ενός ασύρματου τοπικού δικτύου μπορεί να επιλεχθεί ένα από τα πολλά Standards που οι διάφοροι οργανισμοί και εταιρίες έχουν δημιουργήσει τα τελευταία χρόνια. Στη συνέχεια αναφέρουμε τα κυριότερα.

- **IEEE 802.11**

Τον Ιούνιο του 1977 η IEEE οριστικοποίησε το πρώτο της Standard για WLANs. Το 802.11 Standard καθορίζει ως συχνότητα λειτουργίας τα 2.4 GHz και υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων της τάξεως των 1 Mbps και 2 Mbps. Για την ασύρματη μεταφορά δεδομένων καθορίζονται οι λειτουργίες και οι υπηρεσίες ενός υποστρώματος MAC και τριών διαφορετικών φυσικών στρωμάτων. Το υποστρώμα MAC έχει 2 τρόπους λειτουργίας:

- Μία κατανεμημένη (distributed) λειτουργία (CSMA/CA)
- Μια συντονισμένη (coordinated) λειτουργία (polling mode)

Στα τέλη του 1999 η IEEE κοινοποίησε δύο νέα συμπληρωματικά Standards για WLANs, τα 802.11a και 802.11b:

Το 802.11a έχει καθοριστεί έτσι ώστε να υποστηρίζει ρυθμούς δεδομένων έως και 54 Mbps με χρήση της τεχνικής διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) στην μπαντα των 5 GHz.

- Το 802.11b είναι ουσιαστικά μια προέκταση του αρχικού 802.11 καθώς χρησιμοποιεί ως διαμόρφωση την τεχνική DSSS και λειτουργεί στα 2.4 GHz. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς δεδομένων έως και 11 Mbps.

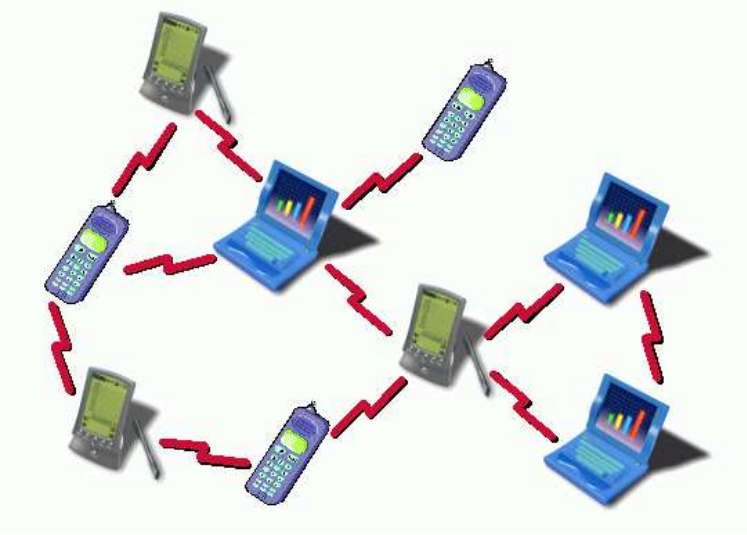
Πρωτόκολλο	Έτος έκδοσης	Συχνότητα λειτουργίας	Ικανότητα διαβίβασης δεδομένων(Throughput-Typ)	Ρυθμός δεδομένων (max)	Κάλυψη (εσωτερική)	Κάλυψη (εξωτερική)
Legacy	1997	2,4-2,5 GHz	0,7 Mbit/s	2 Mbit/s	Εξαρτάται από τους τοίχους	~ 75 m
802.11a	1999	5,15-5,25/5,25-5,35/5,725-5,875 GHz	23 Mbit/s	54 Mbit/s	~30 m	~ 100 m
802.11b	1999	2,4-2,5 GHz	4 Mbit/s	11 Mbit/s	~ 35 m	~ 110 m
802.11g	2003	2,4-2,5 GHz	19 Mbit/s	54 Mbit/s	~ 35 m	~ 110 m
802.11n	2008	2,4 GHz ή/και 5 GHz	74 Mbit/s	248 Mbit/s	~ 70 m	~ 160 m

Πίνακας 2.1: Οι τύποι και τα χαρακτηριστικά του 802.11

- **Ad hoc δίκτυα με επίπεδο δικτύου**

Στον ad hoc (αδόμητο) ρυθμό λειτουργίας του IEEE 802.11, χωρίς σημείο πρόσβασης, δύο κόμβοι οι οποίοι επιθυμούν να επικοινωνήσουν πρέπει οπωσδήποτε να είναι ο ένας στην εμβέλεια του άλλου. Το ίδιο συμβαίνει και στο Bluetooth, αλλά καθώς έτσι κι αλλιώς στα WPAN η κινητικότητα των σταθμών συνήθως είναι πολύ μικρή δεν προκαλείται πρόβλημα από αυτόν τον περιορισμό. Ωστόσο ο τελευταίος δεν είναι χαρακτηριστικό όλων των ασύρματων αδόμητων δικτύων· οφείλεται στο ότι οι προδιαγραφές του Wi-Fi αφορούν μόνο το φυσικό επίπεδο και το επίπεδο MAC, έτσι ώστε τα WLAN με 802.11 να είναι συμβατά με το Internet και κάθε δίκτυο TCP/IP.

Προκειμένου να ξεπεραστεί ο εν λόγω περιορισμός, σε εφαρμογές όπου προκαλεί σημαντικά προβλήματα, εμφανίστηκαν τα **MANET** (Κινητά Ad Hoc Δίκτυα), ευρισκόμενα μία κλίμακα μεγέθους πάνω από τα WLAN. Πρόκειται για ασύρματα ad hoc LAN με ενσωματωμένο επίπεδο δικτύου, όπου κάθε κόμβος λειτουργεί και ως δρομολογητής. Στόχος τους είναι να παρέχουν τη δυνατότητα άμεσης λογικής ζεύξης, χωρίς προϋπάρχουσα υποδομή, από όλους τους κόμβους προς όλους τους κόμβους ακόμα και αν ο παραλήπτης είναι εκτός της εμβέλειας του αποστολέα· αρκεί κάθε κόμβος να έχει επαφή με τουλάχιστον άλλον έναν σταθμό του δικτύου. Στην πράξη τα δίκτυα MANET μπορούν να υλοποιηθούν με πρωτόκολλα 802.11 και με χρήση της τυπικής στοίβας TCP/IP, αλλά επειδή το IP δεν είναι πρωτόκολλο κατάλληλο για δυναμικά ad hoc δίκτυα χρησιμοποιούνται οι διευθύνσεις MAC ως σταθερές διευθύνσεις επιπέδου δικτύου. Έτσι δημιουργείται η ψευδαίσθηση μίας μη ιεραρχικής παραλλαγής δικτύου IP, όπου όλοι οι κόμβοι είναι ισότιμοι και έχουν αμετάβλητες διευθύνσεις ασχέτως της θέσης τους. Επειδή ωστόσο μέχρι στιγμής δεν έχουν επιλυθεί ακόμα σοβαρά προβλήματα και δεν έχουν συμφωνηθεί κοινώς αποδεκτά πρότυπα, τα MANET προς το παρόν αποτελούν περισσότερο ζήτημα ακαδημαϊκής έρευνας παρά πραγματικό εμπορικό προϊόν.



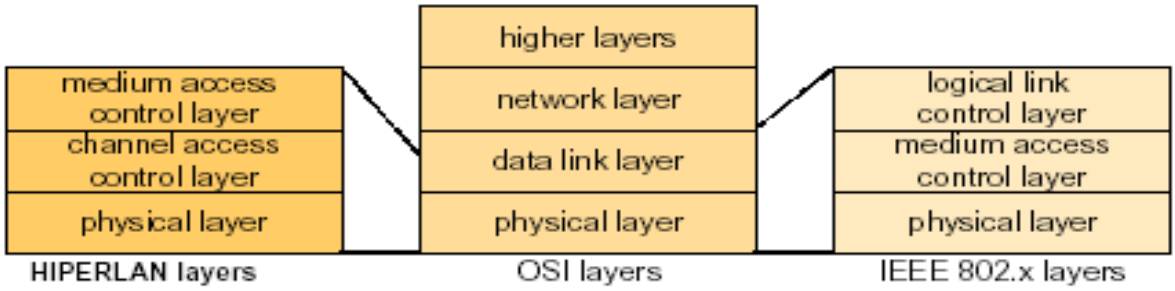
Σχήμα 2.3: Σύστημα επικοινωνίας δικτύων MANET

Σε αντίθεση με τα MANET αυτή τη στιγμή υπάρχουν εμπορικές υλοποιήσεις δικτύων αισθητήρων (WSN, εκ του Wireless Sensor Networks), αν και φυσικά επίσης αποτελούν εστία μεγάλης ερευνητικής δραστηριότητας. Οι εμπορικές υλοποιήσεις αφορούν κάρτες δικτύου με ενσωματωμένους πομποδέκτες, χωρίς όμως να υπάρχουν ακόμη καθολικώς αποδεκτά πρότυπα. Τα WSN διαφέρουν από τα MANET στο ότι οι κόμβοι δεν είναι πλήρεις φορητοί υπολογιστές ή / και PDA, αλλά στοιχειώδεις υπολογιστικές συσκευές περιορισμένων πόρων οι οποίες παρέχουν περιβαλλοντικές μετρήσεις από ενσωματωμένους αισθητήρες. Μοιάζουν με τα MANET στο ότι πρόκειται για ασύρματα ad hoc δίκτυα με επιπρόσθετο επίπεδο δικτύου, όπου οι σταθμοί μετακινούνται και η τοπολογία των κόμβων και των μεταξύ τους συνδέσεων εμφανίζεται δυναμική και απρόβλεπτη. Μια άλλη παραλλαγή ad hoc δικτύου είναι τα

πλεγματικά δίκτυα (WMN, εκ του Wireless Mesh Networks), στα οποία οι κόμβοι δεσμεύονται από πολύ μικρά έως μηδενικά περιθώρια κινητικότητας και η τοπολογία είναι αυστηρά στατική.

- **HiperLAN**

Το HiperLAN καθιερώθηκε το 1996 από την ETSI (European Telecommunications Standards Institute). Η πρώτη έκδοση του Standard είναι το HiperLAN I. Το Standard αυτό λειτουργεί στην μπάντα από 5.1 έως 5.3 GHz, ενώ ο ρυθμός σηματοδοσίας φτάνει τα 24 Mbps. Το πρωτόκολλο χρησιμοποιεί μια παραλλαγή του CSMA/CA η οποία στηρίζεται στο χρόνο ζωής του πακέτου, την προτεραιότητα των πακέτων και τις αναμεταδόσεις στο επίπεδο MAC. Στο επόμενο σχήμα δίνεται η συσχέτιση των διάφορων στρωμάτων όπως αυτά καθορίζονται από τα δύο κυριότερα Standards (HiperLAN και 802.11x) με την αρχιτεκτονική OSI.



Σχήμα 2.4 : Σχηματική σύγκριση των στρωμάτων των Standards HiperLAN και 802.11 με τα στρώματα της αρχιτεκτονικής OSI.

Η ETSI έχει καθορίσει και ένα νέο πρωτόκολλο που ονομάζεται HiperLAN II και λειτουργεί και αυτό στα 5 GHz (5.4 έως 5.7 GHz). Το HiperLAN II στηρίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης OFDM (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing), ενώ υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς μετάδοσης (6, 9, 12, 18, 27, 36 και έναν εναλλακτικό ρυθμό των 54 Mbps). Το HiperLan II είναι ουσιαστικά ένα σύστημα ασύρματου ATM, ενώ το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο υποστρώμα MAC στηρίζεται σε μια διαφοροποιημένη λειτουργία της τεχνικής TDMA.

- **OpenAir**

Το OpenAir είναι ένα Standard που αναπτύχθηκε από την εταιρία Proxim. Είναι προγενέστερο του 802.11 και χρησιμοποιεί την τεχνική του Frequency Hopping επιτυγχάνοντας ρυθμούς δεδομένων 0.8 και 1.6 Mbps (χρησιμοποιώντας τεχνικές διαμόρφωσης 2FSK και 4FSK, αντίστοιχα). Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο υποστρώμα MAC είναι το CSMA/CA με MAC επαναμεταδόσεις και στηρίζεται στην ανταλλαγή RTS/CTS πακέτων.

- **HomeRF SWAP**

Η HomeRF είναι μια ομάδα από μεγάλες εταιρίες που δημιουργήθηκε για να προωθήσει την χρήση των WLAN στο σπίτι και στα γραφεία. Η ομάδα αυτή έχει αναπτύξει ένα νέο πρωτόκολλο για τον σκοπό αυτό, το οποίο ονομάζεται SWAP (Shared Wireless Access Protocol).

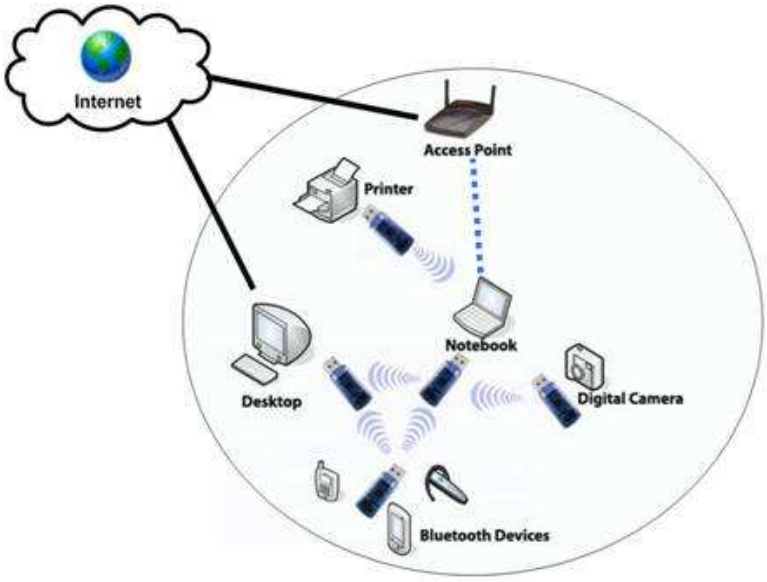
Το SWAP χρησιμοποιεί στο υποστρώμα MAC ένα νέο πρωτόκολλο, το οποίο συνδυάζει χαρακτηριστικά και λειτουργίες από το DECT (ένα Standard της ETSI για ψηφιακά ασύρματα τηλέφωνα) και το 802.11. Η συχνότητα λειτουργίας είναι τα 2.4 GHz, ενώ στο φυσικό στρώμα χρησιμοποιείται η τεχνική FHSS, υποστηρίζοντας ρυθμούς δεδομένων της τάξης των 1 Mbps και 2 Mbps.

- **Bluetooth**

Το Bluetooth αποτελεί μια προδιαγραφή που εκδόθηκε από το Bluetooth Special Interest Group (SIG) με την ενίσχυση μερικών από τις μεγαλύτερες εταιρίες όπως οι Ericsson, IBM, Intel, Microsoft κ.ά. Το Bluetooth δεν αποτελεί ένα πρωτόκολλο για WLAN, αλλά βρίσκει εφαρμογές στα ασύρματα προσωπικά δίκτυα WPANs (Wireless Personal Area Networks), που αποτελούν μικρότερα σε έκταση δίκτυα από τα WLANs, με ακτίνα δράσης έως 10 μέτρα. Το Bluetooth λειτουργεί στα 2.4 GHz, χρησιμοποιεί ως τεχνική διαμόρφωσης την FHSS και φτάνει σε ρυθμούς δεδομένων ως το 1 Mbps.

2.6 WPAN (Ασύρματο Προσωπικό Δίκτυο Περιοχής)

Ένα WPAN (ασύρματο προσωπικό δίκτυο περιοχής) είναι ένα προσωπικό δίκτυο περιοχής - ένα δίκτυο για τη διασύνδεση των συσκευών που βρίσκονται γύρω από το χώρο εργασίας ενός μεμονωμένου προσώπου - στον οποίο οι συνδέσεις είναι ασύρματες. Χαρακτηριστικά, ένα ασύρματο προσωπικό δίκτυο περιοχής χρησιμοποιεί τεχνολογία που επιτρέπει την επικοινωνία περίπου μέσα σε 10 μέτρα - με άλλα λόγια, πολύ περιορισμένης εμβέλειας.



Σχήμα 2.5: Σύστημα επικοινωνίας δικτύων WPAN.

Μια τέτοια τεχνολογία είναι Bluetooth, το οποίο χρησιμοποιήθηκε ως βάση για νέα πρότυπα, IEEE 802.15.Ένα WPAN θα μπορούσε να χρησιμεύσει για να διασυνδέσει όλες τις συνηθισμένες υπολογιστικές συσκευές και συσκευές επικοινωνίας που πολλοί άνθρωποι έχουν στο γραφείο τους ή μεταφέρουν σήμερα - ή αυτό θα μπορούσε να εξυπηρετήσει έναν πιο εξειδικευμένο σκοπό, όπως η άδεια του χειρούργου και άλλων μελών ομάδας για να επικοινωνήσει κατά τη διάρκεια μιας επέμβασης. Μια βασική έννοια στην τεχνολογία WPAN είναι γνωστή ως «plugging in».

Στο ιδανικό σενάριο, όταν δύο WPAN-εξοπλισμένες συσκευές έρχονται κοντά ή μέσα σε μερικά χιλιόμετρα από έναν κεντρικό υπολογιστή, μπορούν να επικοινωνήσουν σαν να είναι συνδεδεμένες με καλώδιο. Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η δυνατότητα κάθε συσκευής να κλειδωθούν έξω άλλες συσκευές επιλεκτικά, αποτρέποντας την άχρηστη παρέμβαση ή την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στις πληροφορίες. Η τεχνολογία για τα WPANs είναι σε αρχικό στάδιο και

υφίσταται γρήγορη ανάπτυξη.

Οι προτεινόμενες συχνότητες λειτουργίας είναι περίπου 2.4 Ghz στην ψηφιακή κατάσταση. Ο στόχος είναι να διευκολυνθεί τη λειτουργία, χωρίς σύνδεση με καλώδιο, μεταξύ του σπιτιού ή των επιχειρησιακών συσκευών και των συστημάτων. Κάθε συσκευή σε ένα WPAN θα είναι σε θέση να συνδεθεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή στο ίδιο WPAN, υπό τον όρο ότι είναι μέσα στην εμβέλεια ενός άλλου. Επιπλέον, τα WPANs παγκοσμίως θα αλληλοσυνδεθούν. Παραδείγματος χάριν, ένας αρχαιολόγος στην Ελλάδα θα μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα PDA για να έχει πρόσβαση άμεσα στις βάσεις δεδομένων στο πανεπιστήμιο Μινεσότας στη Μινεάπολις, για να μεταφέρει τα συμπεράσματα σε εκείνη την βάση δεδομένων.

2.7 Γενιές Ασύρματων Δικτύων

Πρώτη Γενιά - 1G Αναλογικά

- Όλα τα συστήματα 1ης γενιάς χρησιμοποιούν πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (Frequency division Multiple Access – FDMA) και αμφίδρομη επικοινωνία διαίρεσης συχνότητας (frequency division duplex - FDD).
- Το διαθέσιμο φάσμα για κάθε κατεύθυνση είναι 25 MHz.
- Οι συχνότητες λειτουργιές είναι στις ζώνες των 800 και 900 MHz
- Δεν υπήρξε πρόβλεψη για γενικευμένη χρήση, και έτσι οι διαφορές χώρες υιοθέτησαν διαφορετικά standards.
- Η απόσταση των καναλιών είναι 25 kHz ή 30 kHz.
- Όλα τα συστήματα χρησιμοποιούν αναλογική διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation – FM)
- Μερικά από τα γνωστά συστήματα: AMPS (US), NMT (EU), NTT (Japan).
- Η 1G είναι γνωστή και σαν «αναλογικό κυψελοειδές σύστημα»
- Η 1G περιλαμβάνει και τα αναλογικά φορητά τηλεφωνά.

Δεύτερη Γενιά - 2G – Ψηφιακά κυψελοειδή

Περιλαμβάνει 4 κύρια standards:

- Τρία βασισμένα στη πολλαπλή προσπέλαση διαίρεσης χρόνου (Time division multiple access – TDMA): Το Πανευρωπαϊκό GSM,το Βόρειο Αμερικανικό IS-54 και το Ιαπωνικό JDC.
- Ένα βασισμένο στη πολλαπλή προσπέλαση διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA): Το IS-95

Τα βασικά χαρακτηριστικά των ψηφιακών κυψελοειδών είναι :

- Όλα τα συστήματα είναι FDD (αμφίδρομα με διαίρεση συχνότητας) και λειτουργούν στην ζώνη

των 800-900 MHz.

- Το IS-54 and το JDC χρησιμοποιούν την ίδια απόσταση φερόντων (μέγεθος καναλιού) με τα συστήματα 1G (30 kHz και 25 kHz, αντίστοιχα).
- Το GSM χρησιμοποιεί κανάλια των 200 kHz και το CDMA 1,250 kHz.
- Οι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων επίσης είναι διαφορετικοί: για παράδειγμα το GSM έχει ρυθμό μετάδοσης 270 kbps, ενώ το IS-54 έχει 48 kbps.
- Οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης επιτρέπουν την ευκολότερη ενσωμάτωση υπηρεσιών μετάδοσης δεδομένων.

Συστήματα Προσωπικών Επικοινωνιών 2ης γενιάς – 2G PCS

Τα PCS είναι εξέλιξη των ασύρματων τηλεφώνων, και τα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής :

- Τα PCS προορίζονται για χρήση σε συγκροτήματα κατοικιών και γι' αυτό έχουν μικρή εμβέλεια και μικρή πολυπλοκότητα. Χρησιμοποιούνται από πεζούς και όχι σε αυτοκίνητα.
- Standards: CT-2, PHS (Japan), PACS (US), DECT (EU)
- Όλα τα συστήματα είναι TDMA/TDD (πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου/ αμφίδρομα διαίρεσης χρόνου)
- Για επίτευξη ποιότητας φωνής ίδιας με το ενσύρματο δίκτυο, ο ρυθμός μετάδοσης φωνής είναι 32 kbps (περίπου 3 φορές μεγαλύτερος από τα κυψελοειδή συστήματα 2G).
- Ο ρυθμός μετάδοσης στο DECT είναι 1,728 kbps – πράγμα που το κάνει ένα φυσικό αρχικό σύστημα πρόσβασης υψηλής ταχύτητας στο Internet. Εξετάζεται η καταλληλότητα του DECT για νέες τεχνολογίες όπως το Homer.
- Οι μέθοδοι διαμόρφωσης επεξήγησαν με κριτήριο την οικονομία ισχύος και επεξεργασίας και όχι του φάσματος.

Χαρακτηριστικά	Κυψελοειδές Τηλέφωνο	Ασύρματο Τηλέφωνο	Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο Περιοχής
Κάλυψη	1-10 km	10-100m	<30m
Ισχύς Εκπομπής	Υψηλή	Χαμηλή	Χαμηλή
Φορητότητα Τερματικού	Υψηλή	Χαμηλή	Σχεδόν στατική
Διαχείρηση Φορητότητας	Εγγραφή σε τοποθεσία προορισμού	Καθόλου	Καθόλου
Εύρος Ζώνης	Περιορισμένο	Περιορισμένο	Ευρύ (11 Mbit/s)
Έλεγχος	Συγκεντρωτικό	Κατανεμημένο	Κατανεμημένο

Ραδιοζεύξης	**σύστημα**	**σύστημα**	**σύστημα**

Πίνακας 2.2 : Σύγκριση χαρακτηριστικών κυψελοειδούς τηλεφώνου, ασύρματου τηλεφώνου και ασύρματου τοπικού δικτύου

Συστήματα μετάδοσης δεδομένων 2ης γενιάς- 2G Mobile Data

Έχουν τα εξής χαρακτηρίστηκα :

- Μέτριες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων και ευρεία κάλυψη.
- Βασίζονται στην μεταγωγή πακέτων
- Αποτελούν εξέλιξη των συστημάτων τηλεειδοποίησης 1G
- Τα συστήματα ARDIS, Moabite (US), TETRA (EU) έχουν το δικό τους φάσμα συχνοτήτων.
- Το **C**ellular**D**igital**P**acket**D**ata χρησιμοποιεί την υποδομή του AMPS
- Το **G**eneral**P**acket**R**adio**S** μοιράζεται το ραδιοσυστημα του GSM
- Το Metricom λειτούργει στις ελεύθερες IndustrialScientificMedical ζώνες
- Τα πρώτα συστήματα λειτουργούσαν με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 19.2 kbps (Η μεγίστη ταχύτητα των modems εκείνης της εποχής)
- Αυτές οι υπηρεσίες χρησιμοποιούν FDMA σε συνδυασμό με τεχνικές τυχαίας προσπέλασης όπως DigitalSenseMA και ALOHA

Συστήματα Προσωπικών Επικοινωνιών 3ης γενιάς – 3G

Είναι ένα διεθνές standard που αντικαθιστά το 2G και έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Συνδυάζουν φωνή και δεδομένα με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης
- Τα WLAN και τα νέα WPersonalAN (IEEE 802.15) standards αναπτύσσονται για ευρυζωνικα και ad hoc δίκτυα
- Επιτρέπουν την ασύρματη διασύνδεση συσκευών προσωπικής χρήσης όπως φορητοί υπολογιστές, υπολογιστές παλάμης, κινητά τηλέφωνα, ακουστικά, μεγάφωνα, εκτυπωτές
- Τα 3G κυψελοειδή συστήματα χρησιμοποιούν εγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων.Τα WLAN και WPAN χρησιμοποιούν ελεύθερες συχνότητες
- Λειτουργούν σε ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων

Κεφάλαιο 3.ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

3.1 Γενική Επισκόπηση

Τα **Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων ή WSNs** έχουν θεωρηθεί ευρέως ως μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες του 21ου αιώνα. Η πρόσφατη πρόοδος στους τομείς των μικροηλεκτρονικομηχανικών συστημάτων (MEMS) και των ασύρματων επικοινωνιών έιχε ως αποτελέσμα τη δημιουργία μικροσκοπικών, φθηνών και έξυπνων αισθητήρων οι οποίοι εκτεινόμενοι σε μια φυσική περιοχή και δικτυωμένοι μέσω ασύρματων δικτύων αλλά και του Διαδικτύου παρέχουν πρωτοφανείς ευκαιρίες για ποίκιλες πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές ανάμεσα στις οποίες είναι η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, η επιτήρηση πεδίου μάχης αλλά και ο έλεγχος διεργασίας στης βιομηχανίες.

Τα WSNs διακρίνονται σε σχέση με τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας όπως π.χ. τα κυψελοειδή συστήματα και τα Κινητά Ad Hoc Δίκτυα (MANET) λόγω των μοναδικών τους χαρακτηριστικών όπως είναι το πυκνότερο επίπεδο επέκτασης κόμβων,η υψηλή αναξιοπιστία των κόμβων αισθητήρων καθώς και η αυστηρή διαχείρηση της ενέργειας που θέτουν νέες προκλήσεις στην ανάπτυξη και την εφαρμογή των WSNs.

Στην προηγούμενη δεκαετία τα WSNs έτυχαν τεράστιας προσοχής τόσο από τον ακαδημαϊκή κοινότητα όσο και από τη βιομηχανία σε ολόκληρο τον κόσμο με αποτέλεσμα μια τεράστια ερευνητική δραστηριότητα που στόχευσε στο να λύσει σοβαρά προβλήματα σχεδιασμού και εφαρμογής. Απότέλεσμα αυτής της έρευνας είναι η σημαντική πρόοδος που επιτελέστηκε στην ανάπτυξη και την επέκταση των WSNs.

Προβλέπεται πως στο κοντινό μέλλον τα WSNs θα χρησιμοποιηθούν ευρέως σε διάφορες πολιτικές και στρατιωτικές εφαρμογές και θα φέρουν επανάσταση στον τρόπο που ζούμε, εργαζόμαστε και αλληλεπιδράμε με τον φυσικό κόσμο!

3.1.1 Χαρακτηριστικά Δικτύων

Ένα τυπικό WSN αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων οι οποίοι εκτείνονται σε μια περιοχή ενδιαφέροντος και χαρακτηρίζονται από λειτουργικότητα, χαμηλό κόστος αλλά και χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Αυτοί οι κόμβοι παρά το μικρό τους μέγεθος είναι εξοπλισμένοι με αισθητήρες για να αντιλαμβάνονται το γύρω περιβάλλον, με μικροεπεξεργαστές για να επεξεργάζονται τις πληροφορίες αλλά και πομποδέκτες RF για να επικοινωνούν μεταξύ τους για να ολοκληρώσουν έναν κοινό στόχο (όπως πχ τον έλεγχο μιας βιομηχανικής διεργασίας).

Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα επικοινωνίας (κυψελοειδή συστήματα, MANET κλπ) τα δίκτυα αισθητήρων έχουν τα ακόλουθα μοναδικά χαρακτηριστικά και περιορισμούς :

- **Πυκνή επέκταση κόμβων**. Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως εκτείνονται πυκνά σε μια περιοχή ενδιαφέροντος και ο αριθμός τους μπορεί να είναι πολλές φορές μεγαλύτερος από ότι σε ένα δίκτυο MANET.
- **Ενεργειακά τροφοδοτούμενοι από μπαταριές**. Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως τροφοδοτούνται από μπαταρίες .Σε πολλές περιπτώσεις εκτείνονται σε σκληρό ή εχθρικό περιβάλλον όπου είναι πολύ δύσκολη η αλλαγή ή επαναφόρτιση των μπαταριών.
- **Αυστηρά περιορισμένα σε ενέργεια, υπολογισμούς και στους χώρους αποθήκευσης**.
- **Συντονίζονται μεταξύ τους αυτόματα.** Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως εκτείνονται τυχαία χωρίς προσεχτικό σχεδιασμό και εφαρμοσμένη μηχανική. Μόλις τοποθετηθούν πρέπει να συντονιστούν αυτόματα σε ένα δίκτυο επικοινωνίας.
- **Σχεδιασμένα επακριβώς για κάθε εφαρμογή.** Κάθε δίκτυο σχεδιάζεται για συγκεκριμένη εφαρμογή και οι σχεδιαστικές απαιτήσεις αλλάζουν ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.
- **Αναξιοπιστία.** Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως τοποθετούνται σε σκληρό και εχθρικό περιβάλλον και λειτουργούν χωρίς ανθρώπινη παρουσία. Συνεπώς είναι επιρρεπείς σε φυσικές καταστροφές και αποτυχίες.
- **Συχνές αλλαγές τοπολογίας.** Η τοπολογία του δικτύου συχνά αλλάζει λόγω αποτυχίας των κόμβων, καταστροφών, προσθήκη νέων, μείωσης της ενέργειας ή και εξασθένισης των καναλιών.
- **Έλλειψη σφαιρικής αναγνώρισης.** Λόγω του μεγάλου αριθμού κόμβων αισθητήρων, δεν είναι συνήθως δυνατό να χτιστεί ένα σφαιρικό σχέδιο διευθυνσιοδότησης για ένα δίκτυο αισθητήρων επειδή θα εισήγε υψηλά γενικά έξοδα για τη αναγνωριστική συντήρηση.
- **Συμμετοχή πολλών κόμβων σε ένα Πρότυπο Κυκλοφορίας.** Στις περισσότερες εφαρμογές δικτύων αισθητήρων τα στοιχεία που αντιλαμβάνονται οι αισθητήρες ρέουν από πολλούς κόμβους αισθητήρων πηγής σε μια συγκεκριμένη "δεξαμενή" που συγκεντρώνει τις πληροφορίες φανερώνοντας ένα **Πρότυπο Κυκλοφορίας πολλών σε έναν.**
- **Πλεονασμός δεδομένων.** Στις περισσότερες εφαρμογές δικτύων αισθητήρων, οι κόμβοι είναι πυκνά τοποθετημένοι σε μια περιοχή ενδιαφέροντος και συνεργάζονται ώστε να πετύχουν έναν κοινό στόχο. Κατά συνέπεια τα στοιχεία που δέχονται από το περιβάλλον οι διάφοροι αισθητήρες έχουν ένα ορισμένο επίπεδο πλεονασμού ή του συσχετισμού.

Τα μοναδικοί χαρακτηριστικά και οι περιορισμοί που παρουσιάστηκαν παραπάνω παρουσιάζουν πολλές νέες προκλήσεις στο σχέδιο των δικτύων αισθητήρων.

3.1.2 Δικτυακές Εφαρμογές

Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο να αναγνωρίσουν ή να απεικονίσουν μια ποικιλία φυσικών παραμέτρων ή καταστάσεων, για παράδειγμα :

- Φώς
- Ήχο
- Πίεση
- Θερμοκρασία
- Σύνθεση του εδάφους
- Ποιότητα του αέρα ή του νερού
- Ιδιότητες ενός αντικειμένου όπως πχ το μέγεθος, το βάρος, τη θέση, την ταχύτητα αλλά και την κατεύθυνση της κίνησής του.

Οι ασύρματοι αισθητήρες έχουν εμφανή πλεονεκτήματα σε σχέση με τους συμβατικούς συνδεδεμένους με καλώδιο αισθητήρες. Μπορούν όχι μόνο να μειώσουν το κόστος και την καθυστέρηση στην επέκταση, αλλά και να εφαρμοστούν σε οποιοδήποτε περιβάλλον, ειδικά εκείνοι στους οποίους τα συμβατικά δίκτυα αισθητήρων με καλώδιο είναι αδύνατες να επεκταθούν, παραδείγματος χάριν, αφιλόξενες εκτάσεις, πεδία μάχης, μακρινό διάστημα, ή βαθιοί ωκεανοί.

Τα WSNs αρχικά χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικές εφαρμογές, οι οποίες κυμαίνονται από μεγάλης κλίμακας - ακουστικά συστήματα παρακολούθησης για την ωκεάνια επιτήρηση ως τα μικρά δίκτυα των αφύλακτων επίγειων αισθητήρων για την ανίχνευση επίγειων στόχων.

Εντούτοις η διαθεσιμότητα αισθητήρων χαμηλού κόστους και της ασύρματης επικοινωνίας έχει υποσχεθεί την ανάπτυξη ενός ευρέος φάσματος εφαρμογών τόσο σε πολιτικά όσο και σε στρατιωτικά πεδία.

3.1.2.1 Περιβαλλοντικός Έλεγχος

Ο περιβαλλοντικός έλεγχος είναι ένας από τις πρώτιστες εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων. Στον περιβαλλοντικό έλεγχο, οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να ελέγξουν ποικίλους περιβαλλοντικούς παραμέτρους ή όρους.

- **Έλεγχος βιότοπων.**

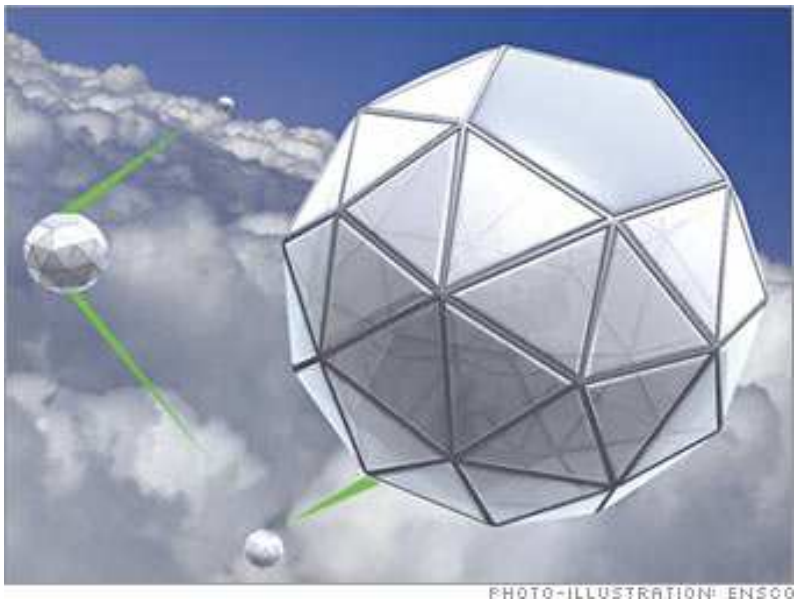
Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο να ελέγχουν τις συνθήκες ύπαρξης των άγριων ζώων και φυτών σε άγριους βιότοπους αλλά και τις περιβαλλοντικές παραμέτρους των βιότοπων αυτών(όπως πχ υγρασία, πίεση, θερμοκρασία, και ακτινοβολία).



Εικόνα 3.1 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που ελέγχει το μικροκλίμα μέσα σε δάσος

- **Έλεγχος ποιότητας του νερού και του αέρα.**

Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν στο είτε έδαφος είτε κάτω από την επιφάνεια του νερού ώστε να παρατηρούν και να καταγράφουν την ποιότητα του αέρα (για τον έλεγχο της μόλυνσης του αέρα) αλλά και του νερού (χρησιμοποιείται στον τομέα της υδροχημείας).



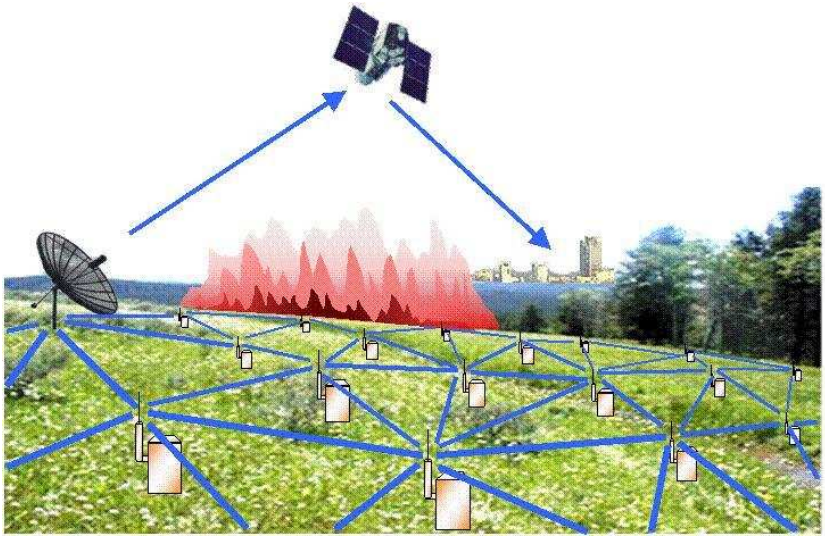
Εικόνα 3.2 : Ασύρματοι αισθητήρες που ελέγχουν την ποιότητα του αέρα

- **Έλεγχος κινδύνου.**

Οι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν βιολογικούς ή χημικούς κινδύνους σε συγκεκριμένες περιοχές, παραδείγματος χάριν, ένα εργοστάσιο χημικής βιομηχανίας ή σε ένα πεδίο μάχης.

- **Έλεγχος φυσικής (και μη) καταστροφής.**

Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν πυκνά σε συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος ώστε να ανιχνεύουν φυσικές ή μη- καταστροφές. Παραδείγματος χάριν, οι αισθητήρες μπορούν να διασκορπιστούν στα δάση ή τα ποτάμια για να ανιχνεύσουν πυρκαγιές ή πλημμύρες. Επιπροσθέτως υπάρχουν και οι σεισμικοί αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα κτήριο ώστε να μπορούν να ανιχνέυσουν την κατεύθυνση αλλά και το μέγεθος ενός σεισμού για να παρέχουν μια αξιολόγηση για την ασφάλεια της οικοδομής.



Εικόνα 3.3 : Ασύρματοι αισθητήρες ανίχνευσης πυρκαγιάς

3.1.2.2 Στρατιωτικές Εφαρμογές

Τα WSN γίνονται ολοένα αναπόσπαστο κομμάτι των στρατιωτικών συστημάτων εντολών, ελέγχου, επικοινωνίας αλλά και των ευφυών συστημάτων (C3I).Οι ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να εκταθούν ταχύτατα σε ένα πεδίο μάχης ή σε μια εχθρική περιοχή χωρίς καμία απολύτως υποδομή. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, λόγω της εύκολης εγκατάστασής, της αυτόματης διαμόρφωσης, της ανεπιτήρητης λειτουργίας αλλά και της αντοχής τους θα παίξουν σημαντικό ρόλο στα μελλοντικά στρατιωτικά συστήματα **C3I** συστήματα με αποτέλεσμα να κάνουν τους μελλοντικούς πολέμους πιο έξυπνους με μικρότερη ανθρώπινη συμμετοχή.

- **Έλεγχος πεδίου μάχης**

Παρακολούθηση των εχθρικών δυνάμεων και οχημάτων στο πεδίο μάχης.

- **Προστασία περιοχών ή αντικειμένων**

Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να επεκταθούν γύρω από ευαίσθητα αντικείμενα ή περιοχές, παραδείγματος χάριν, ατομικές εγκαταστάσεις, στρατηγικές γέφυρες, αγωγούς πετρελαίου και υγραερίου, κέντρα επικοινωνίας και στρατιωτικές έδρες με σκοπό την προστασίας τους.

- **Ευφυής καθοδήγηση**

Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε τηλεκατευθυνόμενα οχήματα, τανκ, μαχητικά αεροσκάφη, υποβρύχια και πυραύλους ώστε να τα οδηγήσουν αποτελεσματικά σε συγκεκριμένους εχθρικούς στόχους ή περιοχές.

- **Απομακρυσμένος έλεγχος**

Απομακρυσμένος έλεγχος πυρηνικών, βιολογικών και χημικών όπλων ώστε να προλαμβάνονται τρομοκρατικές επιθέσεις.

3.1.2.3 Εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης

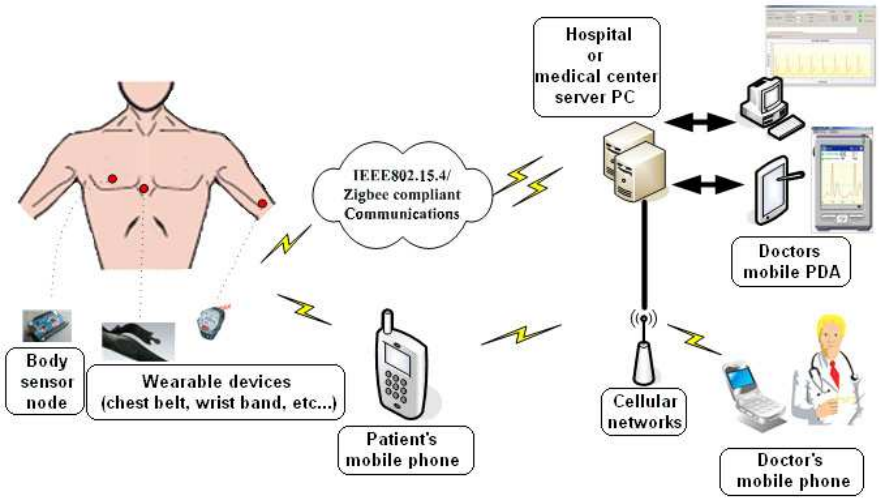
Τα WSN μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ελέγξουν και να παρακολουθήσουν υπερήλικες και ασθενείς για λόγους υγειονομικής περίθαλψης, οι οποίοι μπορούν να ανακουφίσουν σημαντικά την έλλειψη προσωπικού υγειονομικής περίθαλψης και να μειώσει τις δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης στα τρέχοντα υγειονομικά συστήματα.

- Έλεγχος συμπεριφοράς ασθενούς.

Οι αισθητήρες μπορούν να ελέγξουν την κατάσταση ενός ασθενούς από το σπίτι του, να ειδοποιήσουν τους γιατρούς σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης αλλά και να υπενθυμίζουν στους ασθενείς οδηγίες μέσω τηλεόρασης ή ραδιοφώνου.

- Ιατρικός έλεγχος.

Αισθητήρες που φοριούνται στο σώμα ενός ασθενούς, μπορούν να δημιουργήσουν ένα δίκτυο περιοχής σώματος (WBAN) που θα ελέγχει τα ζωτικής σημασίας σήματα, περιβαλλοντικές παραμέτρους και γεωγραφικές τοποθεσίες ασθενών ή υπερήλικων με σκοπό την παρακολούθηση της κατάστασής τους, την άμεση επέμβαση υγειονομικού προσωπικού σε περίπτωση ανάγκης, την άμεση αναφορά στον χρήστη της κατάστασης της υγείας του αλλά και την ενημέρωση σε πραγματικό χρόνο του φακέλου του ασθενούς.



Σχήμα 3.4 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για εφαρμογές υγειονομικής περίθαλψης

3.1.2.4 Έλεγχος βιομηχανικής διαδικασίας

Στην βιομηχανία, τα WSN μπορούν να να χρησιμοποιηθούν στην παρακολούθηση και τον έλεγχο της παραγωγικής διαδικασίας ή την κατάσταση του εξοπλισμού. Χημικά εργοστάσια αλλά και εργοστάσια πετρελαίου μπορούν να χρησιμοποιήσουν τους αισθητήρες για να ελέγχουν την κατάσταση των αγωγών σε όλο το μήκος των δικτύων τους ενώ μικροσκοπικοί αισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν σε περιοχές μιας μηχανής που είναι απρόσιτες από τον άνθρωπο με σκοπό τον έλεγχο της κατάστασης της μηχανής αλλά και την ειδοποίηση σε περίπτωση οποιασδήποτε αποτυχίας. Ακόμη μια σημαντική συμβολή των αισθητήρων στην βιομηχανία, είναι η εξοικονόμηση πολλών χρημάτων από τη συντήρηση των μηχανημάτων η οποία ως τώρα γινόταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Τώρα με τη χρήση δικτύων αισθητήρων η συντήρηση γίνεται αναλόγως της κατάστασης των μηχανημάτων με αποτέλεσμα την

εξοικονόμηση πολλών χρημάτων, την αύξηση της διάρκειας ζωής των μηχανημάτων αλλά και την αποφυγή εργατικών ατυχημάτων που πολλές φορές στοιχίζουν ανθρώπινες ζωές.

3.1.2.5 Ασφάλεια και παρακολούθηση

Τα WSN μπορούν να να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές ασφαλείας και παρακολούθησης. Για παράδειγμα, ακουστικοί, τηλεοπτικοί και άλλα είδη αισθητήρων μπορούν να ενσωματωθούν σε κτήρια, αεροδρόμια, υπόγειους σιδηρόδρομους και άλλες κρίσιμες υποδομές για να αναγνωρίζουν και να παρακολουθούν πιθανούς εισβολείς και να παρέχουν έγκαιρους συναγερμούς για προστασία από πιθανές επιθέσεις.

3.1.2.6 Έξυπνα σπίτια

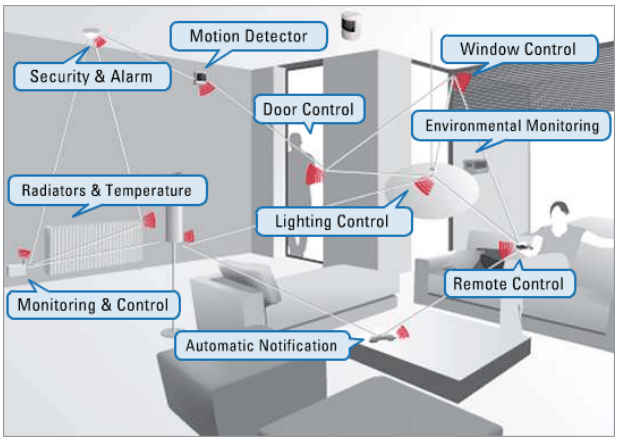
Τα WSN μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να παρέχουν περισσότερο αξιόπιστα και ευφυή περιβάλλοντα διαβίωσης για τους ανθρώπους.

- Έξυπνο σπίτι.

Ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα σπίτι και να συνδεθούν ώστε να δημιουργήσουν ένα αυτόνομο οικιακό δίκτυο. Παραδείγματος χάριν, ένα έξυπνο ψυγείο που συνδέεται με μια έξυπνο εστία μαγειρέματος ή έναν φούρνο μικροκυμάτων μπορεί να προετοιμάσει επιλογές βασισμένες στον κατάλογο του ψυγείου και να στείλει τις σχετικές παραμέτρους μαγειρέματος στον έξυπνο φούρνο, ο οποίος θα θέσει την επιθυμητή θερμοκρασία και το χρόνο για το μαγείρεμα. Ακόμα το περιεχόμενο και τα προγράμματα των TV, VCR, DVD, μπορούν απομακρυσμένα να επιτηρηθούν και να ελεγχθούν για να καλύψουν τις διαφορετικές απαιτήσεις των οικογενειακών μελών.

- Απομακρυσμένες μετρήσεις.

Ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ώστε να πραγματοποιούν χρήσιμες μετρήσεις σε ένα σπίτι (όπως παραδείγματος χάριν μετρήσεις νερού, υγραερίου ή ηλεκτρισμού) και μετά να τις αποστέλλουν σε ένα απομακρυσμένο κέντρο επεξεργασίας μέσω ασύρματης επικοινωνίας.



Εικόνα 3.5 : Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για έξυπνα σπίτια

Εκτός από τις παραπάνω εφαρμογές, αυτοδιαμορφώμενα WSN μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές άλλες εφαρμογές όπως π.χ. βοήθεια σε καταστροφές, έλεγχο της κυκλοφοριακής κίνησης, διαχείριση αποθηκών και σε έργα πολιτικών μηχανικών. Εντούτοις, διάφορα τεχνικά ζητήματα πρέπει να λυθούν προτού αυτές οι συναρπαστικές εφαρμογές να γίνουν πραγματικότητα.

3.1.3 Αντικειμενικοί Στόχοι Σχεδιασμού Δικτύου

Τα χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων και οι απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών ασκούν αποφασιστική επίδραση στους στόχους σχεδίου δικτύων από την άποψη των ικανοτήτων των δικτύων και της απόδοσης τους. Οι κύριοι στόχοι σχεδίου για τα δίκτυα αισθητήρων περιλαμβάνουν τις εξής διάφορες πτυχές:

- **Μικρό μέγεθος κόμβων.** Η μείωση του μεγέθους κόμβων είναι ένας από τους αρχικούς στόχους σχεδίου των δικτύων αισθητήρων. Οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται συνήθως σε ένα σκληρό ή εχθρικό περιβάλλον σε μεγάλους αριθμούς. Η μείωση του μεγέθους κόμβων μπορεί να διευκολύνει την επέκταση κόμβων, και να μειώσει επίσης το κόστος και την κατανάλωση ισχύος των κόμβων αισθητήρων**.**
- **Χαμηλό κόστος κόμβων.** Η μείωση του κόστους κόμβων είναι ένας άλλος αρχικός στόχος σχεδίου των δικτύων αισθητήρων. Από τη στιγμή που οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται συνήθως σε έναν σκληρό ή το εχθρικό περιβάλλον στους μεγάλους αριθμούς και δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν, είναι σημαντικό να μειωθεί το κόστος των κόμβων αισθητήρων έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος ολόκληρου του δικτύου.
- **Χαμηλής κατανάλωση ισχύος.** Η μείωση της κατανάλωσης ισχύος είναι ο σημαντικότερος στόχος στο σχέδιο ενός δικτύου αισθητήρων. Δεδομένου ότι οι κόμβοι αισθητήρων τροφοδοτούνται από την μπαταρία και είναι συχνά πολύ δύσκολο ή ακόμα και αδύνατο να την αλλάξουμε ή να την επαναφορτίσουμε, είναι κρίσιμο να μειωθεί η κατανάλωση ισχύος των κόμβων αισθητήρων έτσι ώστε η διάρκεια ζωής των κόμβων αισθητήρων καθώς επίσης και ολόκληρου του δικτύου να παρατείνεται.
- **Αυτοδιαμόρφωση.** Στα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται συνήθως σε μια περιοχή ενδιαφέροντος χωρίς τον προσεκτικό προγραμματισμό και την εφαρμοσμένη μηχανική. Μόλις επεκταθούν, οι κόμβοι αισθητήρων πρέπει να είναι σε θέση να οργανωθούν αυτόνομα σε ένα δίκτυο επικοινωνίας και να επαναρυθμίσουν τη συνδετικότητά τους σε περίπτωση αλλαγών στην τοπολογία και αποτυχιών των κόμβων.
- **Ευέλικτα στη μεταβολή της κλίμακας μεγεθών.** Στα δίκτυα αισθητήρων, ο αριθμός κόμβων αισθητήρων μπορούν να είναι της τάξης των δεκάδων, των εκατοντάδων, ή των χιλιάδων. Κατά συνέπεια, τα πρωτόκολλα δικτύων που σχεδιάζονται για τα δίκτυα αισθητήρων πρέπει να είναι εξελικτικά στα διαφορετικά μεγέθη δικτύων.
- **Προσαρμοστικότητα.** Στα δίκτυα αισθητήρων, ένας κόμβος μπορεί να αποτύχει, να ενωθεί, ή να μετακινηθεί, κάτι το οποίο θα οδηγούσε σε αλλαγές στην πυκνότητα των κόμβων αλλά και στην τοπολογία δικτύων. Κατά συνέπεια, τα πρωτόκολλα δικτύων που σχεδιάζονται για τα δίκτυα αισθητήρων πρέπει να είναι ευπροσάρμοστα σε τέτοιες αλλαγές πυκνότητας και τοπολογίας.
- **Αξιοπιστία.**Για πολλές εφαρμογές δικτύων αισθητήρων, απαιτείται τα στοιχεία να παραδίδονται αξιόπιστα πέρα από θορυβώδη, επιρρεπή σε λάθη, και χρόνο - ποίκιλα ασύρματα κανάλια. Για να καλυφθεί αυτήν η απαίτηση, σχεδιάζονται πρωτόκολλα δικτύων για τα δίκτυα αισθητήρων τα οποία πρέπει να παρέχουν τους μηχανισμούς ελέγχου και διορθώσεων λαθών για να εξασφαλίσουν αξιόπιστη παράδοση των δεδομένων.
- **Ανοχή ελαττωμάτων.** Οι κόμβοι αισθητήρων είναι επιρρεπείς σε αποτυχίες λόγω των σκληρών περιβαλλόντων επέκτασης και των αφύλακτων διαδικασιών. Κατά συνέπεια, οι κόμβοι αισθητήρων πρέπει να είναι ανεκτικοί στα ελαττώματα και να έχουν τις δυνατότητες της αυτοεξέτασης, αυτοβαθμονόμησης, της αυτοδιόρθωσης και αυτοανάκτησης.

- **Ασφάλεια.**Σε πολλές στρατιωτικές εφαρμογές, οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται σε ένα εχθρικό περιβάλλον και είναι έτσι τρωτοί στους αντιπάλους. Σε τέτοιες καταστάσεις, ένα δίκτυο αισθητήρων πρέπει να εισαγάγει τους αποτελεσματικούς μηχανισμούς ασφάλειας για να αποτρέψει τις πληροφορίες στοιχείων στο δίκτυο ή έναν κόμβο αισθητήρων, από την μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση ή τις κακόβουλες επιθέσεις.
- **Channel Utilization .**Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν περιορισμένους πόρους του εύρους ζώνης. Κατά συνέπεια, τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που σχεδιάζονται για τα δίκτυα αισθητήρων θα έπρεπε να χρησιμοποιούν αποτελεσματικά το εύρος ζώνης για να βελτιώσουν τη χρησιμοποίηση καναλιών.
- **Ποιότητα Υπηρεσίας (QoS) – Υποστήριξη.**Στα δίκτυα αισθητήρων, διαφορετικές εφαρμογές μπορούν να έχουν διαφορετικές απαιτήσεις ποιότητας υπηρεσιών (QoS) από την άποψη της λανθάνουσας κατάστασης παράδοσης και της απώλειας πακέτων. Μερικές εφαρμογές, παραδείγματος χάριν, οι εφαρμογές ελέγχου πυρκαγιάς, είναι ευαίσθητες στην καθυστέρηση και απαιτούν έτσι την έγκαιρη παράδοση στοιχείων. Μερικές άλλες εφαρμογές, παραδείγματος χάριν, εφαρμογές συλλογής δεδομένων για την επιστημονικές έρευνες, είναι ανεκτικές στην καθυστέρηση αλλά δεν μπορούν να αντέξουν την απώλεια πακέτων. Κατά συνέπεια, το σχέδιο πρωτοκόλλου δικτύων πρέπει να εξετάσει τις απαιτήσεις QoS των επιστημονικών εφαρμογών.
- **Παγκόσμια Διαθεσιμότητα.** Πολλές από τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπως οι ασύρματα ετικέτες αποσκευών και τα συστήματα θέσης μεταφορικών κιβωτίων, σιωπηρά απαιτούν ότι το δίκτυο θα πρέπει να είναι ικανό στο να λειτουργεί παγκοσμίως.

Τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων είναι επιστημονικών εφαρμογών και έχουν διαφορετικές απαιτήσεις. Δεν είναι απαραίτητο και πραγματικά μη πρακτικό, να εφαρμοστούν όλοι οι στόχοι σχεδίου σε ένα ενιαίο δίκτυο. Αντ' αυτού, μόνο μέρος αυτών των στόχων πρέπει να ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό ενός επιστημονικού δικτύου προκειμένου να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις της εφαρμογής.

3.1.4 Προκλήσεις στο Σχεδιασμό Δικτύων

Τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων παρουσιάζουν πολλές προκλήσεις στο σχεδιασμό των δικτυών αισθητήρων που περιλαμβάνουν τις ακόλουθες κύριες πτυχές :

- **Περιορισμένη Χωριτικότητα Ενέργειας.** Οι κόμβοι αισθητήρων τροφοδοτούνται από μπαταρίες και έτσι είναι πολύ περιορισμένοι στη χωρητικότητα ενέργειας. Αυτός ο περιορισμός όμως παρουσιάζει πολλές νέες προκλήσεις στην ανάπτυξη λογισμικού και υλικού αλλά και στο σχεδιασμό της αρχιτεκτονικής του δικτύου και των πρωτοκόλλων των δικτύων αισθητήρων έτσι ώστε να επιτευχθεί επιμήκυνση στην επιχειρησιακή διάρκεια ζωής τους.
- **Περιορισμένοι Πόροι Υλικού.** Οι κόμβοι αισθητήρων είναι επίσης περιορισμένοι στην υπολογιστική ισχύ αλλά και στο χώρο αποθήκευσης με αποτέλεσμα να περιορίζονται και οι υπολογιστικές λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιήσουν.
- **Μαζική και Τυχαία Ανάπτυξη Κόμβων.** Τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από μεγάλο αριθμό κόμβο που πολλές φορές είναι εκατοντάδες ή και χιλιάδες .Η ανάπτυξη των κόμβων στο χώρο είναι χειροκίνητη ή τυχαία αναλόγως της εφαρμογής. Στις περισσότερες εφαρμογές οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να διασκορπιστούν τυχαία σε μια περιοχή προορισμού να πέσουν μαζικά πάνω από μια απροσπέλαστη ή εχθρική περιοχή. Οι κόμβοι του δικτύου θα πρέπει να οργανώνονται αυτόνομα σε ένα δίκτυο επικοινωνίας πριν αρχίσουν να λειτουργούν σαν αισθητήρες.
- **Δυναμικό και Αναξιόπιστο Περιβάλλον.** Οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως αναπτύσσονται σε δυναμικό και αναξιόπιστο περιβάλλον. Από τη μία πλευρά, η τοπολογία του δικτύου αισθητήρων μπορεί να αλλάζει συχνά λόγω αστοχίας των κόμβων, καταστροφών αλλά και

έλλειψη ενέργειας. Από την άλλη πλευρά, οι κόμβοι του δικτύου συνδέονται με ένα ασύρματο μέσο, το οποίο είναι θορυβώδες, επιρρεπές σε λάθη, και χρονικά μεταβαλλόμενο. Η συνδεσιμότητα του δικτύου μπορεί συχνά να διαταράσσεται εξαιτίας εξασθένησης του καναλιού ή του σήματος.

- **Ποικιλία Εφαρμογών.** Τα δίκτυα αισθητήρων έχουν ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εφαρμογών. Οι απαιτήσεις διαφέρουν σημαντικά από εφαρμογή σε εφαρμογή με αποτέλεσμα κανένα πρωτόκολλο δικτύου να μην μπορεί να ανταποκριθεί στις απατήσεις όλων των εφαρμογών. Έτσι, ο σχεδιασμός των δικτύων αισθητήρων πρέπει κάθε φορά να εξαρτάται από τις προδιαγραφές της εφαρμογής.

3.2 Τεχνολογικό Υπόβαθρο

Η έννοια WSNs εισήχθη αρχικά τρεις δεκαετίες πριν. Σε αυτό το χρόνο, αυτή η έννοια ήταν περισσότερο ένα όραμα, παρά μια τεχνολογία που θα μπορούσε ευρέως να χρησιμοποιηθεί λόγω της κατάστασης προόδου στον αισθητήρα, τον υπολογιστή, και τις ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών. Κατά συνέπεια, η εφαρμογή της περιορίστηκε κυρίως σε μεγάλα στρατιωτικά συστήματα. Εντούτοις, οι πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι σε MEMS, την ασύρματη επικοινωνία, και τις χαμηλού κόστους τεχνολογίες κατασκευής, έχουν επιτρέψει ανάπτυξη των μικροσκοπικών, φτηνών, και έξυπνων αισθητήρων με την αντίληψη, την επεξεργασία, και την ικανότητα επικοινωνίας, η οποία επομένως έχει τονώσει την ανάπτυξη των δικτύων αισθητήρων και τις εφαρμογές τους.

3.2.1 MEMS Technology

MEMS,είναι η βασική τεχνολογία για την κατασκευή μικροσκοπικών, χαμηλού κόστους, και χαμηλής ισχύος κόμβων αισθητήρων. Είναι βασισμένη σε τεχνικές, που έχουν αναπτυχθεί για να κατασκευάσουν μικρά-μηχανικά τμήματα που ελέγχονται ηλεκτρικά, καταλήγοντας σε MEMS. Μέσω των ιδιαίτερα ενσωματωμένων διαδικασιών, αυτά τα ηλεκτρομηχανικά συστατικά μπορούν να κατασκευαστούν με τη μικροηλεκτρονική, που παράγει τα πολυσύνθετα συστήματα.



Εικόνα 3.6 : Μικροφωνικός αισθητήρας τεχνολογίας MEMS

Υπάρχουν διαφορετικές μικρομηχανικές τεχνικές, παραδείγματος χάριν, επίπεδη μικρομηχανική, μικρομηχανική όγκου, και μικρομηχανική επιφάνειας, οι οποίες περιλαμβάνουν τις διαφορετικές διαδικασίες επεξεργασίας. Οι περισσότερες μικρομηχανικές διαδικασίες αρχίζουν με ένα υπόστρωμα πάχους 100 - 100mm, που αποτελείται συνήθως από το πυρίτιο, άλλους κρυστάλλινους ημιαγωγούς, ή το χαλαζία, στα οποία εφαρμόζονται ένας αριθμός από διαδοχικά βήματα, παραδείγματος χάριν, λεπτή εναπόθεση φιλμ, φωτολιθογραφία, χαρακτική, οξείδωση, επιμετάλλωση με ηλεκτρόλυση, μηχανική επεξεργασία, και τη σύνδεση ημιαγωγίκων δίσκων. Οι διαφορετικές διαδικασίες μπορεί να περιλαμβάνουν συγκεκριμένα στάδια. Με τη ενσωμάτωση διαφορετικών συστατικών μαζί σε μια ενιαία διαδικασία, το μέγεθος ενός κόμβου αισθητήρων μπορεί να μειωθεί πολύ. Ιδιαίτερου ενδιαφέροντος είναι οι διαδικασίες που συνδυάζουν τις κρυσταλλολυχνίες CMOS με μικρομηχανικές ικανότητες. Με τη χρησιμοποίηση της τεχνολογίας MEMS, πολλά συστατικά των κόμβων αισθητήρων μπορούν να μικρογραφηθούν, παραδείγματος χάριν, αισθητήρες, πλαίσια επικοινωνίας, και μονάδες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, οι οποίοι μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε μία σημαντική μείωση του κόστους, μέσω ενός συνόλου επεξεργασίας, καθώς επίσης και τη μείωση κατανάλωσης ισχύος.

3.2.2 Wireless Communication Technology

Η ασύρματη επικοινωνία είναι μια βασική τεχνολογία για τη διευκόλυνση της κανονικής λειτουργίας ενός WSN. Η ασύρματη επικοινωνία έχει μελετηθεί πολύ για τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα στις τελευταίες δεκαετίες, και σημαντικές πρόοδοι έχουν ληφθεί στις διάφορες πτυχές της ασύρματης επικοινωνίας. Στο φυσικό στρώμα, μια ποικιλία διαμορφώσεων, συγχρονισμού, και τεχνικές κεραιών έχουν σχεδιαστεί για τα διαφορετικά σενάρια δικτύων και τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Στα υψηλότερα στρώματα, αποδοτικά πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν αναπτυχθεί για να αντιμετωπίσουν τα διάφορα ζητήματα δικτύωσης, παραδείγματος χάριν, ο μέσος έλεγχος προσπέλασης, η δρομολόγηση, QoS, και η ασφάλεια δικτύων. Αυτές οι τεχνικές και πρωτόκολλα επικοινωνίας παρέχουν ένα πλούσιο τεχνολογικό υπόβαθρο για το σχέδιο της ασύρματης επικοινωνίας σε WSNs. Σήμερα τα περισσότερα συμβατικά ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες (RF) για την επικοινωνία, συμπεριλαμβανομένου και των μικροκυμάτων. Ο αρχικός λόγος είναι ότι η επικοινωνία RF δεν απαιτεί μια οπτική επαφή και παρέχει πολυκατευθυντικές συνδέσεις. Εντούτοις, το RF έχει μερικούς περιορισμούς, παραδείγματος χάριν, μεγάλους οπτικούς ακτινοβολείς και χαμηλή αποδοτικότητα μετάδοσης, τα οποία κάνουν το RF όχι και το καλύτερο επικοινωνιακό μέσο όταν θέλουμε μικρή κατανάλωση ενέργειας και περιορισμένο αριθμό κόμβων αισθητήρων. Ένα άλλο πιθανό μέσο για την επικοινωνία στα δίκτυα αισθητήρων είναι η free space οπτική επικοινωνία ,η όποια έχει πολλά πλεονεκτήματα πέρα από την επικοινωνία RF. Παραδείγματος χάριν, οι οπτικοί ακτινοβολείς, οι καθρέφτες και οι δίοδοι λέιζερ, μπορούν να γίνουν εξαιρετικά μικροί. Η οπτική μετάδοση παρέχει εξαιρετικά υψηλή απολαβή κεραιών, η οποία παράγει υψηλότερα αποτελέσματα μετάδοσης. Η υψηλή κατευθυντικότητα της οπτικής επικοινωνίας επιτρέπει τη χρήση της πολλαπλής πρόσβασης SDMA, η οποία δεν απαιτεί κανένα γενικό έξοδο επικοινωνίας και έχει τη δυνατότητα να είναι περισσότερο ενεργειακά αποδοτική από τα μέσα σχέδια πρόσβασης που χρησιμοποιούνται στο RF, όπως ο χρόνος, η συχνότητα, και η πολλαπλάσια πρόσβαση κατανομής κωδίκων (TDMA, FDMA, και CDMA). Εντούτοις, η οπτική επικοινωνία απαιτεί οπτική επαφή και ακριβή υπόδειξη για τη μετάδοση, η οποία περιορίζει επίσης τη χρήση σε πολλές εφαρμογές δικτύων αισθητήρων. Αφ' ετέρου, τα περισσότερα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τα συμβατικά ασύρματα δίκτυα, παραδείγματος χάριν, κυψελοειδή συστήματα, ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs), ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (WPANs), και MANETs, δεν λαμβάνουν υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων, και ιδιαίτερα, τον ενεργειακό περιορισμό στους κόμβους αισθητήρων. Επομένως, δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα χωρίς μετατροπή. Μια νέα ακολουθία πρωτοκόλλων δικτύων απαιτείται για να αντιμετωπίσει τα διάφορα ζητήματα δικτύωσης, λαμβάνοντας υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά WSNs.

3.2.3 Hardware and Software Platforms

Η ανάπτυξη WSNs εξαρτάται κατά ένα μεγάλο μέρος από τη διαθεσιμότητα των χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος πλατφορμών υλικού και λογισμικού για τα δίκτυα αισθητήρων. Με την τεχνολογία MEMS, το μέγεθος και το κόστος ενός κόμβου αισθητήρων έχει μειωθεί σημαντικά. Για να επιτύχουν τη χαμηλής ισχύος κατανάλωση στο επίπεδο κόμβων, είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί η γνώση δύναμης και η ενεργειακή βελτιστοποίηση στο σχέδιο υλικού για τα δίκτυα αισθητήρων. Το χαμηλής ισχύος σχέδιο κυκλωμάτων και συστημάτων έχει επιτρέψει την ανάπτυξη των υπερβολικά χαμηλών τμημάτων, παραδείγματος χάριν, των μικροεπεξεργαστών και των μικροελεγκτών υλικού δύναμης. Εν τω μεταξύ, η κατανάλωση ισχύος μπορεί περαιτέρω να μειωθεί μέσω της αποδοτικής ενεργοποίησης των διάφορων πόρων συστημάτων που χρησιμοποιούν κάποια δυναμική τεχνική διαχείρισης (DPM) δύναμης. Παραδείγματος χάριν, μια συνήθως χρησιμοποιημένη τεχνική DPM είναι στο κλείσιμο αδρανών συστατικών ή τα βάζει σε μία χαμηλής ισχύος κατάσταση όταν υπάρχει ελάχιστο ή κανένα φορτίο που επεξεργάζεται, το οποίο μπορεί σημαντικά να μειώσει την κατανάλωση ισχύος. Επιπλέον, αποταμίευση πρόσθετης ενέργειας είναι επίσης δυνατή στην ενεργή κατάσταση με τη χρησιμοποίηση μιας δυναμικής τεχνικής ξελεπιάσματος (DVS) τάσης. Έχει αποδειχθεί ότι η βασισμένη στο DVS διαχείριση δύναμης έχει σημαντικά υψηλότερη ενεργειακή αποδοτικότητα έναντι της βασισμένης στο κλείσιμο διαχείριση δύναμης. Αφ' ετέρου, η ενεργειακή αποδοτικότητα μπορεί σημαντικά να ενισχυθεί εάν η ενεργειακή γνώση ενσωματώνεται στο σχέδιο του λογισμικού συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου του λειτουργικού συστήματος, και των πρωτόκολλων εφαρμογής και δικτύων. Στον πυρήνα του λειτουργικού συστήματος υπάρχει χρονοπρογραμματιστής στόχου, ο οποίος είναι αρμόδιος για το προγραμματισμό ενός δεδομένου συνόλου στόχων στο σύστημα κάτω από ορισμένους περιορισμούς συγχρονισμού. Η διάρκεια ζωής συστημάτων μπορεί αρκετά να παραταθεί εάν η ενεργειακή γνώση ενσωματωθεί στο στόχο σχεδιάζοντας τη διαδικασία. Το χαμηλής ισχύος σχέδιο κυκλωμάτων και συστημάτων, καθώς επίσης και οι τεχνικές διαχείρισης δύναμης, έχουν επιτρέψει την ανάπτυξη πολλών χαμηλής ισχύος πλατφορμών υλικού και λογισμικού αισθητήρων. Η εμπορική διαθεσιμότητα αυτών των πλατφορμών έχει διεγείρει σημαντικά την περαιτέρω ανάπτυξη WSNs.

3.2.4 Πρότυπα Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Για να διευκολυνθεί η παγκόσμια ανάπτυξη και εφαρμογή των WSN, είναι επιτακτική η ανάγκη της οικοδόμησης μιας μεγάλης – χαμηλού κόστους αγοράς που θα αφορά τα προϊόντα αισθητήρων για τον τομέα αυτό. Για αυτό το σκοπό είναι πολύ σημαντικό να αναπτυχθούν σχετικά πρότυπα έτσι ώστε προϊόντα αισθητήρων από διαφορετικούς κατασκευαστές να μπορούν να επικοινωνούν και να διαλειτουργούν. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν γίνει πολλές προσπάθειες υπό τη σκέπη οργανισμών πιστοποίησης προκειμένου να ενοποιήσουν την αγορά, οδηγώντας σε χαμηλού κόστους δυσλειτουργικές συσκευές αποφεύγοντας τη διάδοση ιδιόκτητων και μη συμβατικών πρωτοκόλλων δικτύων. Σε κάποιο βαθμό, η επιτυχία των WSN ως τεχνολογία θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό από την επιτυχία αυτών των προσπαθειών τυποποίησης. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα δύο βασικά πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Κεφάλαιο 4. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΔΙΚΤΥΩΝ ΚΑΙ ΣΤΟΙΒΑ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΩΝ WSN'S

4.1 Εισαγωγή

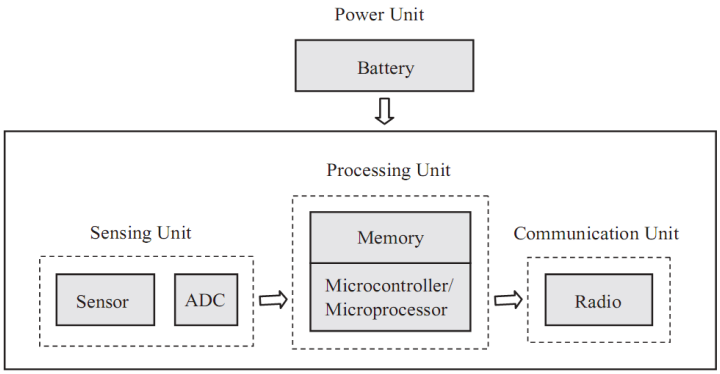
Οι αρχιτεκτονικές δικτύων και τα πρωτόκολλα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για το σχεδιασμό των ασύρματων δίκτυα αισθητήρων. Λόγω του αυστηρού ενεργειακού περιορισμού των κόμβων αισθητήρων, ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των δικτύων ασκεί μεγάλη επίδραση στην κατανάλωση ενέργειας και στη λειτουργική διάρκεια ζωής ολόκληρου του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων που είναι πυκνά παρατεταμένοι σε μια περιοχή παρακολούθησης και συνεργάζονται για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη αποστολή. Απαιτείται μια ακολουθία πρωτοκόλλων δικτύου για την εφαρμογή των διαφόρων εντολών διαχείρισης και ελέγχου του δικτύου, για παράδειγμα, το συγχρονισμό, τον αυτόματο συντονισμό των κόμβων στο δίκτυο, τον έλεγχο πρόσβασης, τη δρομολόγηση, την άθροιση δεδομένων, τον εντοπισμό κόμβων και την ασφάλεια των δικτύων. Ωστόσο, τα υπάρχοντα πρωτόκολλα δικτύου για τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα, όπως είναι τα κυψελοτά συστήματα και τα ασύρματα ad hoc δίκτυα (MANETs), δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στα δίκτυα αισθητήρων, διότι δεν υπολογίζουν άμεσα τους περιορισμούς σε ενέργεια και αποθήκευση στους κόμβους αισθητήρων. Από την άλλη πλευρά, τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων εφαρμόζουν συγκεκριμένες προδιαγραφές και έχουν διαφορετικές απαιτήσεις εφαρμογών. Για τους λόγους αυτούς, είναι απαραίτητη μια νέα ακολουθία πρωτοκόλλων δικτύου, τα οποία θα λαμβάνουν υπόψη όχι μόνον τους περιορισμούς των πόρων στους κόμβους αισθητήρων, αλλά και τις απαιτήσεις των διαφόρων δικτυακών εφαρμογών. Για το σκοπό αυτό, είναι σημαντικό να ορίσουμε μία στοίβα πρωτοκόλλων, για τη διευκόλυνση του σχεδιασμού, στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

4.2 Αρχιτεκτονικές Δικτύων WSN

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε αρχικά τη δομή ενός κόμβου αισθητήρα και έπειτα θα περιγράψουμε τις τυπικές αρχιτεκτονικές για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

4.2.1 Δομή Κόμβων Αισθητήρων

Ένας τυπικός κόμβος αισθητήρων αποτελείται από τέσσερα βασικά συστατικά: μια αισθητήρια μονάδα, μια μονάδα επεξεργασίας, μια μονάδα επικοινωνίας, και μια μονάδα τροφοδοσίας όπως φαίνεται στο Σχ.4.1. Η αισθητήρια μονάδα αποτελείται συνήθως από έναν ή περισσότερους αισθητήρες και ψηφιακούς μετατροπείς (ADCs). Οι αισθητήρες παρατηρούν το φυσικό φαινόμενο και παράγουν τα αναλογικά σήματα βασισμένα στο παρατηρούμενο φαινόμενο. Οι ψηφιακοί μετατροπείς μετατρέπουν τα αναλογικά σήματα σε ψηφιακά σήματα, τα οποία εισάγονται στη μονάδα επεξεργασίας. Η μονάδα επεξεργασίας αποτελείται συνήθως από έναν μικροελεγκτή ή έναν μικροεπεξεργαστή με μνήμη, τα οποία παρέχουν τον



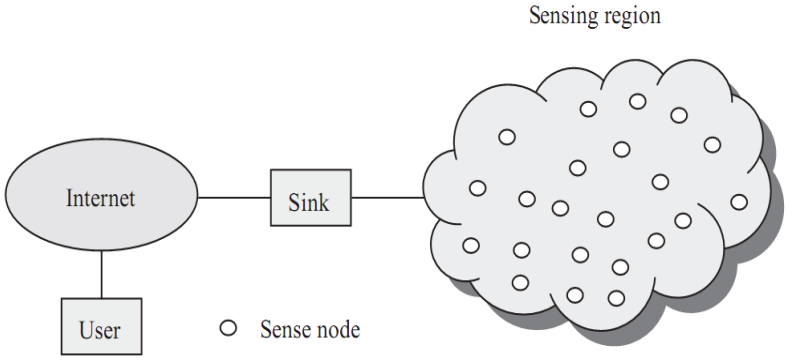
ευφυή έλεγχο στον κόμβο αισθητήρων.

Σχήμα 4.1 : Τυπική Δομή Κόμβων Αισθητήρων

Η μονάδα επικοινωνίας αποτελείται από μια μικρής εμβέλειας ραδιοεπικοινωνία για την εκτέλεση της μετάδοσης στοιχείων και της υποδοχής σε ένα ραδιοκανάλι. Η μονάδα τροφοδοσίας αποτελείται από μια μπαταρία για την παροχή της ενέργειας, για να οδηγούνται όλα τα άλλα συστατικά στο σύστημα. Επιπλέον, ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί να είναι εξοπλισμένος με μερικές άλλες μονάδες, αναλόγως της χρησιμότητας των εφαρμογών. Για παράδειγμα, ένα σύστημα παγκόσμιας πλοήγησης (GPS) μπορεί να χρειαστεί σε μερικά προγράμματα που επιθυμούν πληροφορίες για τοποθεσίες ,για συγκεκριμένες δικτυακές εφαρμογές. Ένα μικρό μηχανοκίνητο όχημα μπορεί να χρειαστεί για να μετακινήσει τους κόμβους αισθητήρων, σε μερικές αισθητήριες εργασίες. Όλες αυτές οι μονάδες πρέπει να χτιστούν δημιουργώντας μια μικρή ενότητα με χαμηλή κατανάλωση ισχύος και μικρό κόστος παραγωγής.

4.2.2 Αρχιτεκτονικές Δικτύων

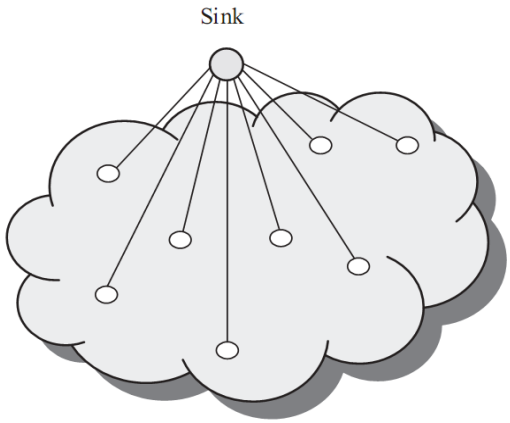
Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από έναν μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων που επεκτείνονται πυκνά στην αισθητήρια περιοχή, και μία ή περισσότερες δεξαμενές δεδομένων ή σταθμούς βάσης που βρίσκονται κοντά ή μέσα στην περιοχή αισθητήρων (sensing region),όπως φαίνεται στο Σχ.4.2. Η δεξαμενή (sink) δεδομένων στέλνει τα ερωτήματα ή τις εντολές στους κόμβους αισθητήρων (sense node) , ενώ οι κόμβοι αισθητήρων συνεργάζονται να ολοκληρώσουν την αποστολή τους και να στείλουν τα στοιχεία στη δεξαμενή. Εν τω μεταξύ, η δεξαμενή χρησιμεύει επίσης ως μια πύλη στα εξωτερικά δίκτυα,



παραδείγματος χάριν, το Διαδίκτυο. Συλλέγει τα δεδομένα από τους κόμβους αισθητήρων, εκτελεί την απλή επεξεργασία στα συλλεγόμενα δεδομένα, και στέλνει έπειτα τη σχετική πληροφορία (ή τα επεξεργασμένα δεδομένα) μέσω του Διαδικτύου στους χρήστες που την ζήτησαν ή χρησιμοποιούν τις πληροφορίες.

Σχήμα 4.2 : Αρχιτεκτονική Δικτύων Αισθητήρων

Για να στείλει τα δεδομένα στη δεξαμενή, κάθε κόμβος αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιήσει την απλού άλματος – μεγάλης αποστάσεως μετάδοση, η οποία οδηγεί στην αρχιτεκτονική δικτύου απλού άλματος όπως φαίνεται στο Σχ.4.3. Εντούτοις, η μεγάλης αποστάσεως μετάδοση είναι δαπανηρή από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας. Στα δίκτυα αισθητήρων, η ενέργεια που καταναλώνεται για την επικοινωνία είναι πολύ υψηλότερη από αυτή για την αντίληψη και τον υπολογισμό. Παραδείγματος χάριν, η ενέργεια που καταναλώνεται για η μεταφορά ενός bit δεδομένων σε έναν δέκτη σε απόσταση 100 μ μακριά είναι ίση με αυτήν που απαιτήθηκε για να εκτελέσει 3.000 εντολές. Η αναλογία της κατανάλωσης ενέργειας για τη διαβίβαση 1 bit από το ασύρματο μέσο σε αυτό για την επεξεργασία του ίδιου bit θα μπορούσε να είναι σε εύρος από 1.000 – 10.000! Επιπλέον, η ενέργεια που καταναλώνεται για τη μετάδοση είναι το μεγαλύτερο μέρος από την συνολική ενέργεια που καταναλώνεται για την επικοινωνία, και η απαραίτητη ενέργεια μετάδοσης αυξάνεται εκθετικά με την αύξηση της απόστασης μετάδοσης. Επομένως, επιδιώκεται να μειωθεί η απόσταση κυκλοφορίας και μετάδοσης, προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή εξοικονόμηση και να παραταθεί η διάρκεια ζωής των δικτύων.



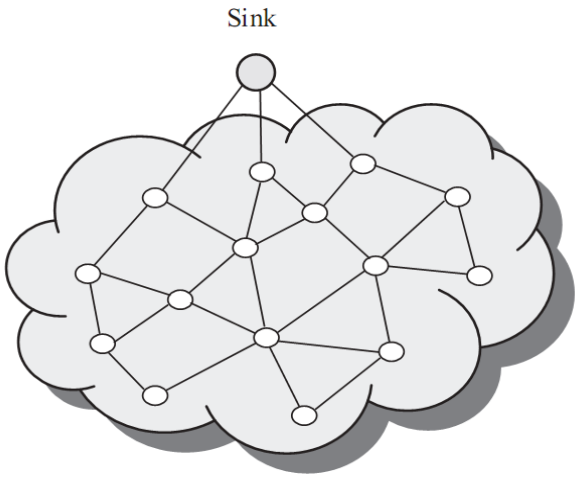
Σχήμα 4.3 : Αρχιτεκτονική Δικτύου απλού άλματος (single hop)

Για αυτόν το λόγο, η επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων (multihop) ,μικρών αποστάσεων, προτιμάται ιδιαίτερα. Στα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων, οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται πυκνά και οι γειτονικοί κόμβοι είναι στενός ο ένας στον άλλο, το οποίο το καθιστά εφικτή την χρησιμοποίηση επικοινωνίας πολλαπλών αλμάτων μικρών αποστάσεων. Στην επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων, ένας κόμβος αισθητήρων διαβιβάζει τα στοιχεία του προς την δεξαμενή μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων, πράγμα που μπορεί να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για την επικοινωνία. Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου επικοινωνίας πολλαπλών αλμάτων μπορεί να είναι οργανωμένη σε δύο τύπους: επίπεδη και ιεραρχική.

4.2.2.1 Επίπεδη αρχιτεκτονική (Flat Architecture)

Σε ένα επίπεδο δίκτυο, κάθε κόμβος διαδραματίζει τον ίδιο ρόλο στην εκτέλεση ενός στόχου παρατήρησης και όλοι οι κόμβοι αισθητήρων είναι ομότιμοι (peers). Λόγω του μεγάλου αριθμού κόμβων

αισθητήρων, δεν είναι εφικτό να οριστεί ένα γενικό αναγνωριστικό για κάθε κόμβο σε ένα δίκτυο αισθητήρων. Για αυτόν τον λόγο, η συλλογή των δεδομένων ολοκληρώνεται συνήθως με τη χρησιμοποίηση της κεντρικής δρομολόγηση των δεδομένων, όπου η δεξαμενή διαβιβάζει το αίτημα σε όλους τους κόμβους στην περιοχή που καλύπτεται από αισθητήρες μέσω πλημμύρας και μόνο οι κόμβοι αισθητήρων που έχουν τα δεδομένα που ταιριάζουν με το αίτημα θα αποκριθούν. Κάθε κόμβος αισθητήρων επικοινωνεί με την δεξαμενή μέσω μονοπατιού πολλαπλής αναπήδησης όπου όλοι οι ομότιμοι κόμβοι λειτουργούν ως αναμεταδότες. Το Σχ.4.4 αντικατοπτρίζει την τυπική αρχιτεκτονική ενός επίπεδου δικτύου.



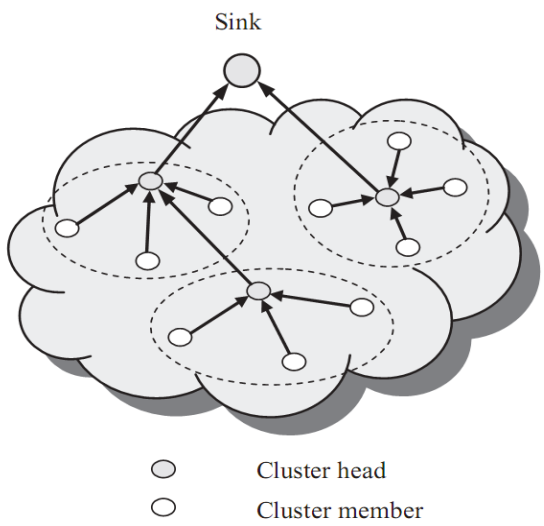
Σχήμα 4.4 : Επίπεδη αρχιτεκτονική

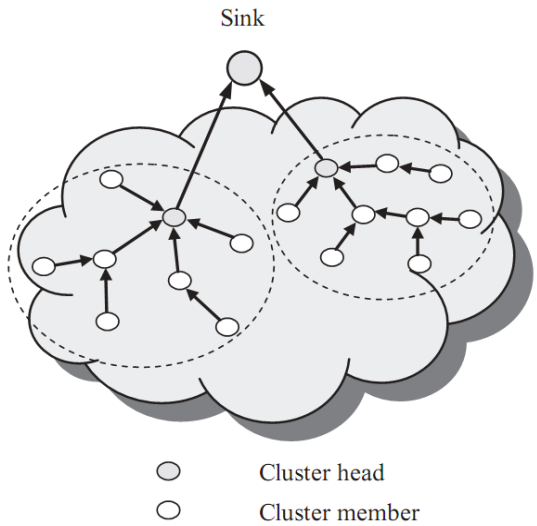
4.2.2.2 Ιεραρχική αρχιτεκτονική (Hierarchical Architecture)

Σε ένα ιεραρχικό δίκτυο, οι κόμβοι αισθητήρων οργανώνονται σε συστάδες, όπου τα μέλη συστάδων στέλνουν τα στοιχεία τους στους επικεφαλής των συστάδων ενώ οι επικεφαλής των συστάδων χρησιμεύουν ως αναμεταδότες για τη διαβίβαση των στοιχείων στη δεξαμενή. Ένας κόμβος με λιγότερη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει το στόχο ως αισθητήρας και να στείλει τα στοιχεία που συνέλλεξε στους επικεφαλής των συστάδων σε μικρή απόσταση, ενώ ένας κόμβος με την περισσότερη ενέργεια μπορεί να επιλεχτεί ως επικεφαλής συστάδων για να επεξεργαστεί τα στοιχεία από τα μέλη συστάδων του και να διαβιβάσει τα επεξεργασμένα στοιχεία στη δεξαμενή.

Αυτή η διαδικασία μπορεί όχι μόνο να μειώσει την κατανάλωση ενέργειας για την επικοινωνία, αλλά και να μοιράσει το φορτίο της κυκλοφορίας ισότοπα και να βελτιώσει την ικανότητα του δικτύου να διευρύνεται όταν αυξάνεται το μέγεθος του. Δεδομένου ότι όλοι οι κόμβοι αισθητήρων έχουν την ίδια ικανότητα μετάδοσης, η συγκέντρωση πρέπει να εκτελεσθεί περιοδικά για να ισορροπηθεί το φόρτο εργασίας σε όλους τους κόμβους αισθητήρων. Επιπλέον, η συνάθροιση στοιχείων μπορεί να εκτελεσθεί στους επικεφαλείς των συστάδων για να μειώσει το ποσό στοιχείων που διαβιβάζεται στη δεξαμενή και να βελτιώσει την ενεργειακή αποδοτικότητα του δικτύου.

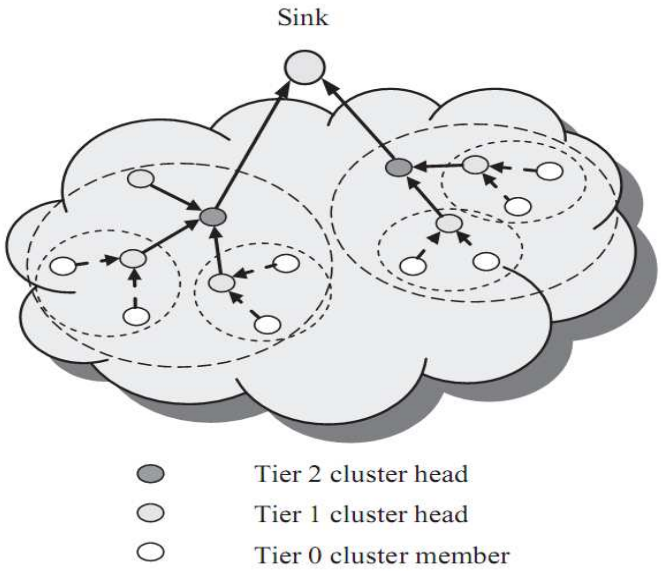
Το βασικό πρόβλημα με τις συστάδες είναι ο τρόπος επιλογής των επικεφαλών των συστάδων και ο τρόπος οργάνωσής τους. Σε αυτό το πλαίσιο, υπάρχουν πολλές στρατηγικές για τις συστάδες. Σύμφωνα με την απόσταση μεταξύ των μελών των συστάδων και τους επικεφαλείς των συστάδων, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να οργανωθεί σε μια αρχιτεκτονική συστάδας απλού άλματος ή πολλαπλού άλματος, όπως φαίνεται στα Σχ.4.5 και 4.6. αντίστοιχα.





Σχήμα 4.5:Αρχ/κή συμπλέγματος απλού άλματος **Σχήμα 4.6:**Αρχ/κή συμπλέγματος πολλαπλού άλματος

Ανάλογα με τον αριθμό των βαθμίδων στην ιεραρχία συμπλέγματος, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να οργανωθεί σε μια αρχιτεκτονική συμπλέγματος μιας βαθμίδας (single-tier) είτε πολλαπλών βαθμίδων (mulititier).Το Σχ. 4.7 παρακάτω δείχνει ένα παράδειγμα της multitier αρχιτεκτονικής συμπλέγματος.



Σχήμα 4.7 : Αρχιτεκτονική συμπλέγματος πολλαπλών βαθμίδων

4.3 Ταξινομήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Ένα δίκτυο αισθητήρων χρησιμοποιείται συνήθως για μια συγκεκριμένη εφαρμογή και έχει έτσι μερικά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Σύμφωνα με τα διαφορετικά κριτήρια, τα WSNs μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές κατηγορίες.

• **Στατικό και Κινητό δίκτυο.** Σύμφωνα με την κινητικότητα των αισθητήριων κόμβων, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι στατικό ή κινητό. Σε ένα στατικό δίκτυο αισθητήρων, όλοι οι αισθητήριοι κόμβοι είναι στατικοί χωρίς μετακίνηση, όπως συμβαίνει σε πολλές εφαρμογές.

Εντούτοις, μερικές εφαρμογές αισθητήρων απαιτούν τους κινητούς κόμβους για να ολοκληρώσουν μία αισθητήρια εργασία. Ένα ασύρματο δίκτυο βιοαισθητήρων που χρησιμοποιεί αυτόνομα ελεγχόμενα ζώα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των κινητών δικτύων αισθητήρων. Σε σύγκριση με στατικά δίκτυα αισθητήρων, που είναι απλούστερο να ελέγχονται και ευκολότερο να εφαρμοστούν, ο σχεδιασμός των κινητών δικτύων αισθητήρων πρέπει να εξετάζει την επίδραση της κινητικότητας, η οποία αυξάνει την πολυπλοκότητα της εφαρμογής.

• **Καθορισμένο και μη καθορισμένο δίκτυο**. Σύμφωνα με την ανάπτυξη των κόμβων αισθητήρων, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι καθορισμένο ή μη καθορισμένο.

Σε ένα καθορισμένο δίκτυο αισθητήρων, οι θέσεις των αισθητήριων κόμβων προσχεδιάζονται και είναι προκαθορισμένες μόλις αναπτυχθεί. Αυτός ο τύπος δικτύου μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί σε περιορισμένες καταστάσεις, όπου η προσχεδιασμένη ανάπτυξη είναι δυνατή. Στις περισσότερες καταστάσεις, εντούτοις, είναι δύσκολο να επεκταθούν τους αισθητήριοι κόμβοι με έναν προσχεδιασμένο τρόπο λόγω των σκληρών ή εχθρικών περιβαλλόντων.

Αντ' αυτού, οι αισθητήριοι κόμβοι επεκτείνονται τυχαία χωρίς τον προσχεδιασμό και την μηχανική. Προφανώς, τα μη καθορισμένα δίκτυα είναι περισσότερα εξελικτικά και ελαστικά, αλλά απαιτούν υψηλότερη πολυπλοκότητα ελέγχου.

• **Δίκτυο Στατικής – δεξαμενής και Κινητής Δεξαμενής.** Μία Δεξαμενή στοιχείων σε ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι στατική ή κινητή. Σε ένα δίκτυο στατικής δεξαμενής , η δεξαμενή είναι στατική σε μια προκαθορισμένη θέση που βρίσκεται κοντά ή μέσα σε μια αισθητήρια περιοχή. Όλοι οι κόμβοι αισθητήρων στέλνουν τα στοιχεία τους στη δεξαμενή. Προφανώς, μία στατική δεξαμενή καθιστά το δίκτυο απλούστερο να ελεγχτεί, αλλά θα προκαλούσε την επίδραση δυναμικής ζώνης (hotspot effetc) . Το φορτίο κυκλοφορίας που οι κόμβοι αισθητήρων απαιτούνται να διαβιβάσουν αυξάνει ραγδαία όσο η απόσταση από την δεξαμενή στοιχείων μικραίνει. Κατά συνέπεια, οι κόμβοι αισθητήρων πιό κοντά στη δεξαμενή στοιχείων τείνουν να "πεθάνουν" γρήγορα, έχοντας ως αποτέλεσμα το διαχωρισμό των δικτύων, ακόμη και την διακοπή της κανονικής λειτουργίας του δικτύου. Σε ένα δίκτυο κινητής δεξαμενής, οι δεξαμενές κινούνται μέσα στην αισθητήρια περιοχή για να συλλέξουν τα στοιχεία από τους κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν να ισορροπήσουν το φορτίο κυκλοφορίας των κόμβων αισθητήρων και να ανακουφίσουν την επίδραση δυναμικής ζώνης στο δίκτυο.

• **Δίκτυο Μονής Δεξαμενής και δίκτυο Πολλαπλών Δεξαμενών**. Ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να έχει μία ενιαία δεξαμενή ή πολλαπλές δεξαμενές. Σε ένα δίκτυο μονής δεξαμενής, υπάρχει μόνο μία δεξαμενή που βρίσκεται κοντά ή μέσα στην αισθητήρια περιοχή. Όλοι οι κόμβοι αισθητήρων στέλνουν τα στοιχεία τους σε αυτή την δεξαμενή. Σε ένα δίκτυο πολλαπλών δεξαμενών, μπορούν να υπάρξουν διάφορες δεξαμενές που βρίσκονται σε διαφορετικές θέσεις κοντά ή μέσα στην αισθητήρια περιοχή. Οι κόμβοι αισθητήρων μπορούν να στείλουν τα δεδομένα τους στην πιο κοντινή δεξαμενή, η οποία μπορεί αποτελεσματικά να ισορροπήσει το φορτίο κυκλοφορίας των κόμβων αισθητήρων και

να ανακουφίσει την επίδραση δυναμικής ζώνης στο δίκτυο.

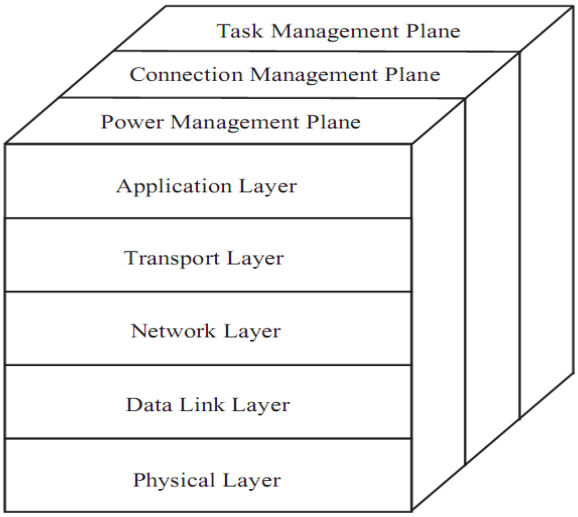
- **Δίκτυο Μονού Άλματος και Πολλαπλών Αλμάτων.** Σύμφωνα με τον αριθμό αλμάτων μεταξύ ενός κόμβου αισθητήρων και της δεξαμενής δεδομένων, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι καταταχθεί σε Μονού Άλματος ή Πολλαπλών Αλμάτων. Σε ένα δίκτυο Μονού Άλματος, όλοι οι κόμβοι αισθητήρων διαβιβάζουν τα δεδομένα τους άμεσα στην δεξαμενή, ο οποία κάνει τον έλεγχο δικτύων απλούστερο να εφαρμοστεί. Εντούτοις, αυτό απαιτεί τη μεγάλης ακτίνας ασύρματη επικοινωνία, η οποία είναι δαπανηρή και από άποψη κατανάλωσης ενέργειας και από άποψη εφαρμογής hardware. Οι πιο απομακρυσμένοι κόμβοι από την δεξαμενή δεδομένων θα "πεθάνουν" πολύ πιο γρήγορα από εκείνους κοντά στην δεξαμενή. Επίσης, το γενικό φορτίο κυκλοφορίας στο δίκτυο μπορεί να αυξηθεί γρήγορα με την αύξηση του μεγέθους δικτύου, που θα προκαλούσε περισσότερες συγκρούσεις, και αυξάνει έτσι την κατανάλωση ενέργειας και την καθυστέρηση παράδοσης. Σε ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων, οι κόμβοι αισθητήρων διαβιβάζουν τα δεδομένα τους στη δεξαμενή χρησιμοποιώντας μικρής απόστασης ασύρματη επικοινωνία μέσω ενός ή περισσότερων ενδιάμεσων κόμβων. Κάθε ενδιάμεσος κόμβος πρέπει να εκτελέσει τη δρομολόγηση και τη διαβίβαση των δεδομένων κατά μήκος μιας πορείας πολλαπλών αλμάτων. Επιπλέον, η συνάθροιση στοιχείων μπορεί να εκτελεσθεί σε έναν ενδιάμεσο κόμβο για να αποβάλει τον πλεονασμό στοιχείων, ο οποίος μπορεί να μειώσει το συνολικό φορτίο κυκλοφορίας στο δίκτυο και να βελτιώσει έτσι την ενεργειακή σπατάλη του δικτύου. Γενικά, ένα δίκτυο μονού άλματος έχει την απλούστερη δικτυακή αρχιτεκτονική και είναι έτσι ευκολότερο να ελεγχτεί. Είναι κατάλληλο για τις εφαρμογές στις μικρές αισθητήριες περιοχές με τους αραιά επεκταμένους κόμβους αισθητήρων. Τα δίκτυα πολλαπλών αλμάτων έχουν ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών με κόστος την μεγαλύτερη πολυπλοκότητα ελέγχου.

- **Αυτοεπαναπροσδιοριζόμενο και μη - αυτοπροσδιοριζόμενο δίκτυο.** Σύμφωνα με το προσδιορισημότητα των κόμβων αισθητήρων, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι αυτοεπαναπροσδιοριζόμενο ή μη αυτοπροσδιοριζόμενο. Στο μη αυτοπροσδιοριζόμενο δίκτυο, οι κόμβοι αισθητήρων δεν έχουν καμία δυνατότητα οργάνωσης σε ένα δίκτυο. Αντί αυτού, πρέπει να στηριχθούν σε έναν κεντρικό ελεγκτή για να ελέγξουν κάθε κόμβο αισθητήρων και να συλλέξουν τα δεδομένα τους. Επομένως, αυτός ο τύπος δικτύων είναι μόνο κατάλληλος για τα μικρής κλίμακας δίκτυα. Στα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων, εντούτοις, οι κόμβοι αισθητήρων είναι σε θέση να οργανωθούν αυτόνομα και να διατηρήσουν τη συνδεσιμότητα τους μόνοι τους και να ολοκληρώσουν σε συνεργασία μια αισθητήρια εργασία. Ένα δίκτυο με τέτοια αυτονομία στον προσδιορισμό είναι κατάλληλο για μεγάλης κλίμακας δίκτυα για να εκτελέσουν τους περίπλοκες αισθητήριες εργασίες.

- **Ομοιογενές και ετερογενές δίκτυο.** Σύμφωνα με το εάν οι κόμβοι αισθητήρων έχουν τις ίδιες ικανότητες, ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι ομοιογενές ή ετερογενές . Σε ένα ομοιογενές δίκτυο, όλοι οι κόμβοι αισθητήρων έχουν τις ίδιες ικανότητες από άποψη ενέργειας, υπολογισμού, και αποθήκευσης. Αντίθετα, ένα ετερογενές δίκτυο έχει μερικούς περίπλοκους κόμβους αισθητήρων που είναι εξοπλισμένοι με περισσότερες ικανότητες επεξεργασίας και επικοινωνίας από τους κανονικούς κόμβους αισθητήρων. Σε αυτήν την περίπτωση, το δίκτυο μπορεί να ορίσει περισσότερες εργασίες επεξεργασίας και επικοινωνίας σε εκείνους τους περίπλοκους κόμβους προκειμένου να βελτιωθεί η σπατάλη ενέργειας και να παραταθεί έτσι η διάρκεια ζωής.

4.4 *Στοίβα Πρωτοκόλλου για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων*

Η στοίβα πρωτοκόλλου για WSNs αποτελείται από πέντε στρώματα πρωτοκόλλου: το φυσικό στρώμα, στρώμα διασύνδεσης δεδομένων, στρώμα δικτύου, στρώμα μεταφοράς, και στρώμα εφαρμογών.



Σχήμα 4.8 : Στοίβα Πρωτοκόλλου WSN's

Το στρώμα εφαρμογών περιέχει ποικιλία πρωτοκόλλων στρωμάτων εφαρμογών για να παράγει τις διάφορες εφαρμογές δικτύων αισθητήρων. Το στρώμα μεταφοράς είναι αρμόδιο για την αξιόπιστη παράδοση δεδομένων που απαιτείται από το στρώμα εφαρμογών. Το στρώμα δικτύου είναι αρμόδιο για τη δρομολόγηση των δεδομένων από το στρώμα μεταφοράς. Το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων είναι πρώτιστα αρμόδιο για την πολυπλεξία της ροής δεδομένων, την μετάδοση και υποδοχή πλαισίου δεδομένων, το μέσο πρόσβασης, και τον έλεγχο λάθους. Το φυσικό στρώμα είναι αρμόδιο για την μετάδοση και την αποδοχή σημάτων πάνω σε ένα φυσικό μέσο επικοινωνίας, συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής συχνότητας, της διαμόρφωσης σημάτων, της μετάδοσης και της υποδοχής, της κρυπτογράφησης στοιχείων, και ούτω καθεξής.

Αφ' ετέρου, η στοίβα πρωτοκόλλου μπορεί να διαιρεθεί σε μια ομάδα διαχειριστικών επιπέδων πάνω σε κάθε στρώμα, συμπεριλαμβανομένων των επιπέδων της ισχύος, της σύνδεσης, και της διαχείρισης εργασιών. Το επίπεδο διαχείρισης της ισχύος είναι αρμόδιο για τη διαχείριση της ενεργειακής στάθμης ενός κόμβου αισθητήρων, για την αντίληψη, την επεξεργασία, τη μετάδοση και την υποδοχή, οι οποίες μπορούν να εφαρμοστούν με την υιοθέτηση αποτελεσματικών μηχανισμών διαχείρισης ισχύος στα διαφορετικά στρώματα του πρωτοκόλλου. Παραδείγματος χάριν, στο στρώμα MAC, ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί να κλείσει τον πομποδέκτη του όταν δεν υπάρχει κανένα στοιχείο για να μεταδώσει ή να λάβει.

Στο στρώμα δικτύου, ένας κόμβος αισθητήρων μπορεί να επιλέξει έναν γειτονικό κόμβο με την περισσότερη υπολειπόμενη ενέργεια ως επόμενο άλμα στη δεξαμενή δεδομένων. Το επίπεδο διαχείρισης της σύνδεσης είναι αρμόδιο για τη διαμόρφωση και την επαναδιαμόρφωση των κόμβων αισθητήρων ώστε να να καθιερώσει και να διατηρήσει τη συνδεσιμότητα ενός δικτύου στην περίπτωση της επέκτασης κόμβων και της αλλαγής τοπολογίας λόγω : της προσθήκης κόμβων, αποτυχίας κόμβων, μετακίνησης κόμβων, και ούτω καθεξής. Το επίπεδο διαχείρισης εργασιών είναι αρμόδιο για τη κατανομή των εργασιών μεταξύ των κόμβων αισθητήρων σε μια αισθητήρια περιοχή, προκειμένου να βελτιωθεί η ενεργειακή αποδοτικότητα και να παραταθεί η διάρκεια ζωής δικτύων. Δεδομένου ότι οι κόμβοι αισθητήρων συνήθως επεκτείνονται πυκνά σε μια περιοχή αισθητήρων και είναι περιττοί για την εκτέλεση

ενός στόχου αντίληψης, δεν καλούνται όλοι οι κόμβοι στην περιοχή αισθητήρων να εκτελέσουν την ίδια εργασία. Επομένως, ένας μηχανισμός διαχείρισης εργασιών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτελέσει τη κατανομή των εργασιών μεταξύ των πολλαπλών αισθητήρων.

4.4.1 Στρώμα Εφαρμογής

Το στρώμα εφαρμογής περιλαμβάνει μια ποικιλία πρωτοκόλλων επιπέδου εφαρμογών, που εκτελούν τις διάφορες εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων, όπως τη διάδοση αιτημάτων, τον εντοπισμός κόμβων, το χρονικός συγχρονισμό, και την ασφάλεια των δικτύων. Παραδείγματος χάριν, το πρωτόκολλο διαχείρισης αισθητήρων (SMP - sensor management protocol) είναι ένα πρωτόκολλο επιπέδου εφαρμογής που παρέχει διαδικασίες λογισμικού για να εκτελέσει ποικίλους στόχους, όπως είναι ανταλλαγή δεδομένων σχετιζόμενα με τη θέση συγχρονισμός των κόμβων αισθητήρων μετακίνηση των κόμβων αισθητήρων, ο σχεδιασμός χρονοδιαγράμματος για τους κόμβων αισθητήρων, και η εξέταση της κατάστασης των κόμβων αισθητήρων.

Το πρωτόκολλο διάδοσης αιτημάτων και δεδομένων αισθητήρων (SQDDP - sensor query and data dissemination protocol) παρέχει εφαρμογές χρηστών με διεπαφές για να προτείνουν αιτήματα, να αποκριθούν σε αυτά, και να συλλέξουν τις απαντήσεις. Το πρωτόκολλο διάδοσης ερωτημάτων και η γλώσσα εφαρμογών (SQTL - sensor query and tasking language) παρέχουν μια γλώσσα προγραμματισμού αισθητήρων που χρησιμοποιείται για να ενεργήσει στο υλικό και το λογισμικό στα WSNs. Αν και πολλές εφαρμογές δικτύων αισθητήρων έχουν προταθεί, τα αντίστοιχα πρωτόκολλα επιπέδου εφαρμογής, πρέπει ακόμα να αναπτυχθούν.

4.4.2 Στρώμα Μεταφοράς

Γενικά, το στρώμα μεταφοράς είναι αρμόδιο για την αξιόπιστη, γραμμή προς γραμμή, παράδοση στοιχείων μεταξύ των κόμβων αισθητήρων και της δεξαμενής. Λόγω των περιορισμών σε ενέργεια, υπολογισμούς, και αποθήκευση των κόμβων αισθητήρων, τα παραδοσιακά πρωτόκολλα μεταφορών δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στα δίκτυα αισθητήρων χωρίς τροποποίηση . Παραδείγματος χάριν, η συμβατική γραμμή προς γραμμή αναμετάδοση βασίζεται στον έλεγχο λάθους και οι μηχανισμοί ελέγχου συμφόρησης που χρησιμοποιούνται στο πρωτόκολλο ελέγχου μεταφορών (TCP – Transport control protocol) δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τα δίκτυα αισθητήρων άμεσα επειδή δεν είναι αποδοτικοί στη χρησιμοποίηση των πόρων. Αφ' ετέρου, τα δίκτυα αισθητήρων είναι προσδιορισμένων εφαρμογών. Ένα δίκτυο αισθητήρων επεκτείνεται συνήθως για μια συγκεκριμένη εφαρμογή αντίληψης, παραδείγματος χάριν, η παρακολούθηση βιότοπων,ο έλεγχος αποθεμάτων, και η επιτήρηση πεδίων μάχης .

Οι διάφορες εφαρμογές μπορούν να έχουν τις διαφορετικές απαιτήσεις αξιοπιστίας, οι οποίες ασκούν μεγάλη επίδραση στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων επιπέδου μεταφοράς. Επιπλέον, η παράδοση στοιχείων στα δίκτυα αισθητήρων εμφανίζεται πρώτιστα σε δύο κατευθύνσεις: προς τα πάνω και προς τα κάτω. Στη μετάδοση προς τα πάνω, οι κόμβοι αισθητήρων διαβιβάζουν τα στοιχεία τους στη δεξαμενή, ενώ στην προς τα κάτω μετάδοση τα στοιχεία που προέρχονται από τη δεξαμενή, παραδείγματος χάριν, ερωτήσεις, εντολές, και δυαδικά στοιχεία προγραμματισμού, στέλνονται από τη δεξαμενή στους κόμβους αισθητήρων πηγής. Η ροή των στοιχείων στις δύο κατευθύνσεις μπορεί να έχει διαφορετικές απαιτήσεις αξιοπιστίας. Παραδείγματος χάριν, οι ροές στοιχείων στην προς τα πάνω κατεύθυνση είναι ανεκτικές στην απώλεια ,επειδή τα στοιχεία είναι συνήθως συσχετισμένα ή περιττά μέχρι ένα συγκεκριμένο σημείο. Στην προς τα κάτω μετάδοση, εντούτοις, η ροή των στοιχείων είναι ερωτήσεις, εντολές, και δυαδικά στοιχεία προγραμματισμού που στέλνονται στους κόμβους αισθητήρων, οι οποίοι απαιτούν συνήθως την αξιόπιστη παράδοση σε ποσοστό 100% .

Επομένως, τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων και οι συγκεκριμένες απαιτήσεις των διαφορετικών εφαρμογών παρουσιάζουν πολλές νέες προκλήσεις στο σχέδιο των πρωτοκόλλων του στρώματος μεταφοράς για τα WSNs.

4.4.3 Στρώμα Δικτύου

Το στρώμα δικτύου είναι αρμόδιο για τη δρομολόγηση των στοιχείων από τους κόμβους αισθητήρων πηγής, στη δεξαμενή στοιχείων. Σε ένα δίκτυο αισθητήρων, οι κόμβοι επεκτείνονται πυκνά σε μια αισθανόμενη περιοχή για να παρατηρήσουν ένα ενδιαφέρον φαινόμενο. Το φαινόμενο που παρακολουθείται ή τα στοιχεία πρέπει να διαβιβαστούν στη δεξαμενή στοιχείων. Γενικά, ένας κόμβος πηγής μπορεί να διαβιβάσει τα στοιχεία στη δεξαμενή είτε άμεσα μέσω ασύρματης επικοινωνίας μεγάλης απόστασης μονού ή πολλαπλών αλμάτων . Εντούτοις, η μεγάλης ακτίνας ασύρματη επικοινωνία είναι δαπανηρή και από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας και της πολύπλοκης εφαρμογής για τους κόμβους αισθητήρων.

Αντίθετα, η μετάδοση πολλαπλών αλμάτων μπορεί όχι μόνο να μειώσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας των κόμβων αισθητήρων, αλλά και να μειώσει αποτελεσματικά τη διάδοση σημάτων και να έχει καλύτερα αποτελέσματα στη μεγάλης ακτίνας ασύρματη επικοινωνία, και επομένως προτιμάται πολύ συχνά. Δεδομένου ότι οι κόμβοι αισθητήρων επεκτείνονται πυκνά και οι γειτονικοί κόμβοι είναι κοντά ο ένας στον άλλο, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί η μετάδοση πολλαπλών αλμάτων. Σε αυτήν την περίπτωση, για να στείλει τα στοιχεία στη δεξαμενή ο κόμβος πηγής πρέπει να εφαρμόσει ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης για να επιλέξει ένα ενεργειακά – αποδοτικό μονοπάτι πολλαπλών αλμάτων από τον κόμβο στη δεξαμενή. Εντούτοις, τα πρωτόκολλα δρομολόγησης για τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα δεν είναι κατάλληλα για τα δίκτυα αισθητήρων επειδή δεν θεωρούν πρωταρχικό τους μέλημα την ενεργειακή απόδοση. Επίσης, τα στοιχεία από την αισθανόμενη περιοχή προς τη δεξαμενή εκθέτουν έναν μοναδικό, πολλών προς ένα, σχέδιο κίνησης στα δίκτυα αισθητήρων.

Ο συνδυασμός πολλαπλών αλμάτων και πολλών προς ένα επικοινωνιών οδηγεί σε μια σημαντική αύξηση στην ένταση κυκλοφορίας διέλευσης και έχει ως αποτέλεσμα : τη συμφόρηση πακέτων, τη σύγκρουση, την απώλεια, την καθυστέρηση, και την κατανάλωση ενέργειας όσο τα στοιχεία κινούνται πιο κοντά στη δεξαμενή. Οι κόμβοι αισθητήρων που είναι πιο κοντά στη δεξαμενή, τυπικά μέσα με έναν μικρό αριθμό αλμάτων, θα χάσουν έναν μεγαλύτερο αριθμό πακέτων και θα καταναλώσουν πολύ περισσότερη ενέργεια από τους κόμβους που βρίσκονται πιο μακριά από τη δεξαμενή, μειώνοντας έτσι κατά ένα μεγάλο μέρος τη λειτουργική διάρκεια ζωής του ολόκληρου δικτύου. Επομένως, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ο ενεργειακός περιορισμός των κόμβων αισθητήρων καθώς επίσης και το μοναδικό σχέδιο κυκλοφορίας, στο σχεδιασμό των πρωτοκόλλων επιπέδου δικτύου και δρομολόγησης των δικτύων. Σε αυτό το πλαίσιο, μια έρευνα μεγάλου εύρους έχει πραγματοποιηθεί και ποίκιλα πρωτόκολλα δρομολόγησης έχουν προταθεί για να εξετάσουν τα διάφορα σενάρια εφαρμογής των δικτύων αισθητήρων.

4.4.4 Στρώμα Διασύνδεσης δεδομένων

Το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων είναι αρμόδιο για την πολυπλεξία της ροής δεδομένων, τη δημιουργία και την ανίχνευση πλαισίων δεδομένων (data frames),τη προσπέλαση των μέσων, και τον έλεγχο λάθους προκειμένου να παρέχει αξιόπιστες μεταφορές σημείου προς σημείο και σημείου προς πολλαπλά σημεία.. Μια από τις πιο πολύ σημαντικές λειτουργίες των στοιχείων του στρώματος διασύνδεσης δεδομένων είναι έλεγχος προσπέλασης των μέσων (MAC – Medium Access Control). Ο αρχικός στόχος της MAC είναι να μοιράζει δίκαια και αποτελεσματικά τις πηγές επικοινωνίας, ή τα μέσα μεταξύ των πολλαπλών κόμβων αισθητήρων, προκειμένου να επιτύχουν καλή επίδοση δικτύου , από την άποψη της κατανάλωσης ενέργειας, απόδοση δικτύου, και καθυστέρησης παράδοσης. Εντούτοις, τα πρωτόκολλα της MAC για τα παραδοσιακά ασύρματα δίκτυα δεν μπορούν να εφαρμοστούν άμεσα στα

δίκτυα αισθητήρων χωρίς τροποποίηση επειδή δεν λαμβάνουν υπόψη τα μοναδικά χαρακτηριστικά των δικτύων αισθητήρων, όπως ο ενεργειακός περιορισμός. Παραδείγματος χάριν, το πρωταρχικό ενδιαφέρον σε ένα κυψελοειδές σύστημα είναι η παροχή ποιότητας υπηρεσιών (QoS) στους χρήστες. Η ενεργειακή απόδοση είναι δευτεροβάθμιας σπουδαιότητας επειδή δεν υπάρχει κανένα ενεργειακό όριο για τους σταθμούς βάσης και οι κινητοί χρήστες μπορούν να ξαναγεμίσουν τις μπαταρίες στα μικροτηλέφωνά τους. Στα δίκτυα MANET, οι κινητοί κόμβοι είναι εξοπλισμένοι με φορητές συσκευές που τροφοδοτούνται από μπαταρία, η οποία είναι επίσης αναπληρώσιμη. Αντίθετα, το πρωταρχικό ενδιαφέρον στα δίκτυα αισθητήρων είναι διατήρηση της ενέργειας για την παράταση της διάρκειας ζωής δικτύων, η οποία καθιστά τα παραδοσιακά πρωτόκολλα MAC ακατάλληλα για τα δίκτυα αισθητήρων. Επομένως, μια ερευνητική εργασία μεγάλου εύρους έχει διοχετευθεί στο MAC και ποικίλα πρωτόκολλα του MAC έχουν προταθεί για να εξεταστούν τα διαφορετικά σενάρια εφαρμογής.

Μια άλλη σημαντική λειτουργία του στρώματος διασύνδεσης δεδομένων είναι ο έλεγχος λάθους στη μετάδοση στοιχείων. Σε πολλές εφαρμογές, ένα δίκτυο αισθητήρων επεκτείνεται σε ένα σκληρό περιβάλλον όπου η ασύρματη επικοινωνία είναι επιρρεπείς σε λάθη . Σε αυτήν την περίπτωση, ο έλεγχος λάθους είναι απαραίτητος και είναι κρίσιμος για την επίτευξη της αξιοπιστίας συνδέσεων ή της αξιόπιστης μετάδοσης στοιχείων. Γενικά, υπάρχουν δύο κύριοι μηχανισμοί ελέγχου λάθους: η τεχνική ανακατασκευής χαμένων πακέτων (FEC – Forward Error Correction) και αυτόματο αίτημα επανεκπομπής (ARQ - Automatic Repeat reQuest). Ο ARQ επιτυγχάνει την αξιόπιστη μετάδοση στοιχείων με την αναμετάδοση των χαμένων πακέτων ή των πλαισίων στοιχείων.

Προφανώς, αυτό επιβαρύνει τις σημαντικές δαπάνες αναμετάδοσης και την πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας, και επομένως δεν είναι κατάλληλο για τα δίκτυα αισθητήρων. Ο FEC επιτυγχάνει την αξιοπιστία της σύνδεση με τη χρησιμοποίηση των κωδίκων ελέγχου λάθους στη μετάδοση στοιχείων, η οποία εισάγει τις πρόσθετες και περιπλοκές κωδικοποιήσεις και αποκωδικοποιήσεις που απαιτούν πρόσθετους πόρους επεξεργασίας στους κόμβους αισθητήρων. Εντούτοις, ο FEC μπορεί να μειώσει σημαντικά τον ρυθμό των λαθών στο κανάλι (BER – Bit Error Rate) για οποιαδήποτε δεδομένη ισχύ εκπομπής. Λαμβάνοντας υπόψη τον ενεργειακό περιορισμό των κόμβων αισθητήρων, ο FEC είναι ακόμα η πιο αποτελεσματική λύση στον έλεγχο σφαλμάτων στα δίκτυα αισθητήρων.

Για να σχεδιαστεί ένας μηχανισμός FEC, η επιλογή του κώδικα ελέγχου λάθους είναι πολύ σημαντική επειδή ένας σωστά επιλεγμένος κώδικας ελέγχου λάθους μπορεί να λάβει ένα καλό κέρδος κωδικοποίησης καθώς και μείωση πολλών τάξεων μεγέθους σε BER. Εν τω μεταξύ, η πρόσθετη ισχύς επεξεργασίας που καταναλώνεται για την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση πρέπει επίσης να εξεταστεί. Επομένως, πρέπει να εξεταστεί ένας συμβιβασμός μεταξύ της πρόσθετης ισχύος επεξεργασίας και του αντίστοιχου κέρδους κωδικοποίησης προκειμένου να υπάρξει ένας ισχυρός, ενεργειακά αποδοτικός, και χαμηλής πολυπλοκότητας μηχανισμός FEC.

4.4.5 Φυσικό Στρώμα (Physical Layer)

Το φυσικό στρώμα είναι αρμόδιο για τη μετατροπή της ροής δεδομένων από το στρώμα διασύνδεσης δεδομένων σε σήματα που είναι κατάλληλα για τη μετάδοση πέρα από το μέσο επικοινωνίας.

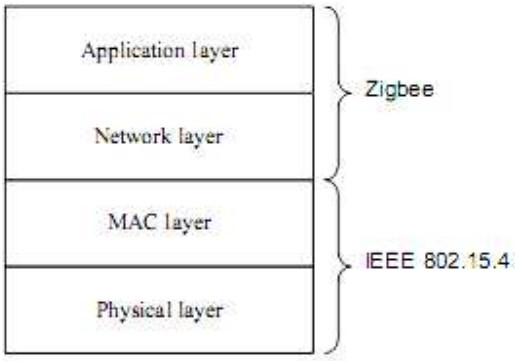
Για αυτόν το λόγο, πρέπει να αντιμετωπίσει διάφορα σχετικά ζητήματα, όπως παραδείγματος χάριν, το μέσο μετάδοσης και την επιλογή συχνότητας, την παραγωγή συχνότητας μεταφοράς, τη διαμόρφωση και την ανίχνευση σημάτων, και την κρυπτογράφηση στοιχείων. Επιπλέον, πρέπει επίσης να εξετάσει το σχέδιο του υποκείμενου υλικού, και τις διάφορες ηλεκτρικές και μηχανικές διεπαφές. Η επιλογή μέσων και συχνότητας είναι ένα σημαντικό πρόβλημα για την επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων. Μια επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν ραδιοφωνικές καθώς και οι βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές μπάντες (ISM – Industrial Scientific Mobile) που είναι ελεύθερες για χρήση στις περισσότερες χώρες. Τα κύρια πλεονεκτήματα των ζωνών ISM είναι η ελεύθερη χρήση, το μεγάλο φάσμα, και η παγκόσμια διαθεσιμότητα.

Ωστόσο , οι ζώνες ISM ήδη έχουν χρησιμοποιηθεί για μερικά συστήματα επικοινωνιών, όπως τα ασύρματα τηλεφωνικά συστήματα και τα ασύρματα δίκτυα τοπικής περιοχής (WLANs).Από την άλλη, τα δίκτυα αισθητήρων απαιτούν ένα μικροσκοπικό, χαμηλό σε κόστος, και τον υπερβολικά χαμηλό σε ισχύ πομποδέκτη. Για αυτούς τους λόγους, η ζώνη ISM 433 MHZ και η ζώνη ISM 917 MHZ έχει συστηθεί για τη χρήση στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική αντίστοιχα. Πολλά προγράμματα έχουν χρησιμοποιήσει κυκλώματα ραδιοσυχνότητας (RF) μέσα στο σχεδιασμό του υλικού για τους κόμβους αισθητήρων, όπως το πρόγραμμα μAMPS όπου οι κόμβος αισθητήρων χρησιμοποιεί έναν πομποδέκτη 2.4 GHz , στο οποίο ο κόμβος αισθητήρων χρησιμοποιεί έναν απλό πομποδέκτη διαύλου RF που λειτουργεί σε 916 MHZ. Εκτός από το ραδιοφωνικό, το οπτικό ή το υπέρυθρο μέσο, μπορεί να είναι πιθανές επιλογές οι οποίες όμως περιορίζουν το σύστημα μας καθώς και στα δυο η οπτική επαφή αποστολέα και παραλήπτη είναι βασική προϋπόθεση της επικοινωνίας .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.ΠΡΟΤΥΠΑ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Η τυποποίηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων βασίζεται σε δύο κύριες οδηγίες: το πρότυπο IEEE 802.15.4 και ZigBee. Αυτά τα δύο πρότυπα καθορίζουν διαφορετικά υποσύνολα των επιπέδων : το IEEE 802.15.4 καθορίζει το Φυσικό επίπεδο και το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσων (MAC) ενώ το ZigBee ορίζει τα στρώματα του Δικτύου και Εφαρμογής, όπως φαίνεται στο σχήμα. 4.1. Οι δύο στοίβες πρωτοκόλλου μπορούν να συνδυαστούν για την υποστήριξη μετάδοσης δεδομένων χαμηλού ρυθμού και εφαρμογών μεγάλης - διάρκειας σε ασύρματες συσκευές τροφοδοτούμενες με μπαταρία. Πεδία εφαρμογής των προτύπων αυτών περιλαμβάνουν αισθητήρες, διαδραστικά παιχνίδια, έξυπνες κονκάρδες, τηλεχειριστήρια και συσκευές οικιακού αυτοματισμού.



Σχήμα 5.1 : Η στοίβα πρωτοκόλλου των προτύπων IEEE 802.15.4 και ZigBee

Η πρώτη έκδοση του IEEE 802.15.4 παραδόθηκε το 2003 και διανέμεται ελεύθερα. Το πρότυπο αυτό αναθεωρήθηκε το 2006, αλλά η νέα έκδοση δεν διανέμεται ακόμα δωρεάν. Η στοίβα πρωτοκόλλου ZigBee προτάθηκε στα τέλη του 2004 από τη συμμαχία ZigBee, μια ένωση των εταιρειών που εργάζονται μαζί για να αναπτύξουν τα πρότυπα (και προϊόντα) για αξιόπιστη, χαμηλού κόστους, χαμηλής - ισχύος ασύρματη δικτύωση. Η πρώτη έκδοση του ZigBee έχει αναθεωρηθεί στα τέλη του 2006.Η έκδοση του 2006 εισάγει τις επεκτάσεις που αφορούν την τυποποίηση των προφίλ εφαρμογών και κάποιες μικρές βελτιώσεις στα επίπεδα δικτύου και εφαρμογής.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο αυτών προτύπων.

5.2 Το πρότυπο IEEE 802.15.4

5.2.1 Γενική Επισκόπηση

Το πεδίο εφαρμογής της ομάδας εργασίας IEEE 802.15.4, όπως ορίζεται στην αρχική της αίτηση αδειοδότησης του έργου της, είναι "να καθορίσει τις προδιαγραφές PHY και MAC για χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ασύρματης συνδεσιμότητας με σταθερές, φορητές και κινούμενες διατάξεις χωρίς μπαταρία ή με πολύ περιορισμένες απαιτήσεις για την κατανάλωση της μπαταρίας που κατά κανόνα λειτουργούν στο Personal Operating Space (POS), των 10 μέτρων. Περαιτέρω, ο σκοπός του έργου είναι να παρέχει ένα πρότυπο για την εξαιρετικά χαμηλή πολυπλοκότητα, εξαιρετικά χαμηλό κόστος, πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος και το χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων ασύρματης συνδεσιμότητας μεταξύ οικονομικών συσκευών.

Ο ρυθμός μετάδοσης των ανεπεξέργαστων δεδομένων θα είναι αρκετά υψηλός (κατ 'ανώτατο όριο 200 kbps) για να ικανοποιήσει μια σειρά από απλές ανάγκες όπως τα διαδραστικά παιχνίδια, αλλά και

επεκτάσιμη μέχρι τις ανάγκες του αισθητήρα και της αυτοματοποίησης (10 kbps ή πιο κάτω) για ασύρματες επικοινωνίες. " Οι μέγιστες και ελάχιστες ταχύτητες δεδομένων αργότερα ανέβηκαν σε 250 και 20 kb / s, αντίστοιχα.

Αυτό το διαφορετικό σύνολο των στόχων απαιτεί από το πρότυπο IEEE 802.15.4 να είναι εξαιρετικά ευέλικτο. Αντίθετα με τα πρωτόκολλα μεταφοράς αρχείων όπως το IEEE 802.11 που είναι σχεδιασμένα για μία και μόνο εφαρμογή, το IEEE 802.15.4 πρότυπο υποστηρίζει μια σχεδόν άπειρη ποικιλία πιθανών εφαρμογών στο POS. Οι εφαρμογές αυτές διαφέρουν από εκείνες που απαιτούν υψηλό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων και σχετικά χαμηλή καθυστέρηση στην αποστολή μηνυμάτων, όπως ασύρματα πληκτρολόγια, ποντίκια, και χειριστήρια, μέχρι εκείνες που απαιτούν πολύ χαμηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και είναι σε θέση να ανεχτούν σημαντική καθυστέρηση μηνυμάτων, όπως η ευφυής γεωργία και οι περιβαλλοντικές εφαρμογές τηλεπισκόπησης.

5.2.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου

Οι συσκευές είναι σχεδιασμένες κατάλληλα ώστε να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους εντός ενός εννοιολογικά απλού ασύρματου δικτύου. Ο ορισμός των στρωμάτων του δικτύου είναι βασιζόμενος στο μοντέλο OSI. Παρόλο που μόνο τα κατώτερα στρώματα ορίζονται στο πρότυπο, επιδιώκεται η αλληλεπίδραση με τα ανώτερα στρώματα, ενδεχομένως χρησιμοποιώντας ένα υπόστρωμα λογικού ελέγχου ζεύξης (IEEE 802,2) έχοντας πρόσβαση στο MAC μέσω ενός υποστρώματος σύγκλισης. Οι εφαρμογές μπορούν να βασίζονται σε εξωτερικές συσκευές ή σε πλήρως ενσωματωμένες αυτορυθμιζόμενες συσκευές.

5.2.3 Το Φυσικό Επίπεδο

Παρόμοια με όλα τα IEEE 802 ασύρματα πρότυπα, το πρότυπο IEEE 802.15.4 τυποποιεί το φυσικό στρώμα και το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσων (MAC) για ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (PAN) χαμηλής ταχύτητας. Η στοίβα του πρωτοκόλλου είναι απλή και ευέλικτη, και δεν απαιτεί καμία υποδομή, ενώ είναι κατάλληλη για επικοινωνίες μικρού – εύρους (συνήθως μέσα σε μια ακτίνα των 100 μέτρων). Για τους λόγους αυτούς, αναδεικνύει και παρέχει ευκολία στην εγκατάσταση, χαμηλό κόστος, καθώς και μια εύλογη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών. Το φυσικό στρώμα του προτύπου IEEE 802.15.4 έχει σχεδιαστεί για να συνυπάρχει με άλλα πρότυπα IEEE για ασύρματα δίκτυα, για παράδειγμα, τα IEEE 802,11 και IEEE 802.15.1 (Bluetooth). Επίσης υποστηρίζει την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του πομποδέκτη ραδιοσυχνοτήτων και την μετάδοση των πακέτων στο φυσικό μέσο.

Το IEEE 802.15.4 λειτουργεί στις ακόλουθες τρείς αδειοδοτημένες - ελεύθερες ζώνες συχνοτήτων:

• 868 - 868,6 MHz (π.χ. Ευρώπη), με ρυθμό δεδομένων της τάξης των 20 kbps.

• 902 - 928 MHz (π.χ. Βόρεια Αμερική), με ρυθμό δεδομένων της τάξης των 40 kbps.

• 2400 - 2483,5 MHz (παγκοσμίως), με ρυθμό δεδομένων της τάξης των 250 kbps.

5.2.4 Το υποεπίπεδο Ελέγχου Προσπέλασης Μέσων (MAC)

Γενική επισκόπηση

Το στρώμα MAC παρέχει δεδομένα και υπηρεσίες διαχείρισης για τα ανώτερα στρώματα. Η υπηρεσία δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης και λήψης των MAC πακέτων σε όλο το φυσικό επίπεδο. Οι υπηρεσίες διαχείρισης περιλαμβάνουν συγχρονισμό της επικοινωνίας, τη διαχείριση των εγγυημένων χρονοθυρίδων, καθώς και την σύνδεση/αποσύνδεση των συσκευών στο δίκτυο. Επιπλέον, το στρώμα MAC υλοποιεί βασικούς μηχανισμούς ασφαλείας.

Ακρωνύμιο	Ορισμός
ACL	Access Control List
CAP	Contention Access Period
CFP	Contention Free Period
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
FFD	Full Function Devices
GTS	Guaranteed Time Slots
MAC	Medium Access Control Layer
PAN	Personal Area Network
RFD	Reduced Function Devices

Πίνακας 5.1 : Ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στο IEEE 802.15.4 MAC Layer

Τοπολογίες Δικτύου και Τύποι Κόμβων Δικτύου

Για να μεγιστοποιηθεί η χρησιμότητα του προτύπου, η ομάδα εργασίας IEEE 802.15.4 έπρεπε να ισορροπήσει την επιθυμία του να μπορέσουν να χρησιμοποιήσουν μικρούς, χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης, κόμβους δικτύου με την επιθυμία να παραγάγει ένα πρότυπο που να είναι συμβατό με μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών στην αγορά. Το προκύπτον πρότυπο περιλαμβάνει τρεις τύπους λειτουργιών κόμβου δικτύου:

- ***PAN coordinator*** *(*συντονιστής *PAN*). Ο συντονιστής PAN είναι ο κόμβος που συγκροτεί το δίκτυο και είναι ο βασικός διαχειριστής του δικτύου. Ο συντονιστής PAN μπορεί να εκπέμπει σηματοδότες και μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με οποιαδήποτε συσκευή εντός εμβέλειας. Ανάλογα με το σχεδιασμό του δικτύου, μπορεί να έχει επαρκή μνήμη για την αποθήκευση πληροφοριών σχετικά με όλες τις συσκευές του δικτύου, και πρέπει να έχει επαρκή μνήμη για την αποθήκευση πληροφοριών δρομολόγησης όπως απαιτείται από τον αλγόριθμο που εκτελείται από το δίκτυο..

- **Συντονιστής**. Ο συντονιστής μπορεί να εκπέμπει σηματοδότες και μπορεί να επικοινωνεί απευθείας με οποιαδήποτε συσκευή εντός εμβέλειας. Ο συντονιστής για να γίνει συντονιστής PAN, θα πρέπει να ξεκινήσει ένα νέο δίκτυο.
- **Απλή Συσκευή**. Μια συσκευή δικτύου δεν εκπέμπει σηματοδότη και μπορεί άμεσα να επικοινωνεί μόνο με έναν συντονιστή ή PAN συντονιστή.

Αυτές οι τρεις λειτουργίες πρέπει να ενσωματωθούν σε δύο διαφορετικούς τύπους συσκευών κόμβων που καθορίζονται απο το στρώμα MAC :

- **Συσκευή πλήρους λειτουργίας** (**FFD** *Full function device*).
- **Συσκευή μειωμένης λειτουργίας** (**RFD** *Reduced function device*).

Οι συσκευές RFD προορίζονται για την υλοποίηση τελικών συσκευών με μειωμένες τις ικανότητες της επεξεργασίας, της μνήμης και της επικοινωνίας, οι οποίες υλοποιούν ένα υποσύνολο των λειτουργιών του στρώματος MAC. Ειδικότερα, οι συσκευές RFD μπορούν να συνδέονται με ένα υπάρχον δίκτυο κάθε φορά ενώ η επικοινωνία τους εξαρτάται άμεσα από τις **FFD** συσκευές. Μία RFD μπορεί να συνδέεται με μία μόνο FFD κάθε φορά. Παραδείγματα RFDs περιλαμβάνουν απλούς αισθητήρες ή ενεργοποιητές, όπως διακόπτες φωτισμού, λάμπες, και παρόμοιες συσκευές.

Οι συσκευές FFD εφαρμόζουν πλήρως το στρώμα MAC και μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως συντονιστές PAN ή ως γενικοί συντονιστές ενός συνόλου RFDs.Ο συντονιστής PAN είναι αυτός που συγκροτεί και διαχειρίζεται το δίκτυο. Ειδικότερα, επιλέγει το αναγνωριστικό του PAN και διαχειρίζεται την σύνδεση ή αποσύνδεση των συσκευών. Στη φάση της σύνδεσης, ο συντονιστής PAN αναθέτει στην νέα συσκευή μια διεύθυνση της τάξης των 16 - bit. Αυτή η διεύθυνση μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά στο πρότυπο επεκταμένης διεύθυνσης 64 - bit του IEEE η οποία αποδίδεται στατικά σε κάθε συσκευή.

Οι συσκευές FFD συνεργάζονται για την υλοποίηση της τοπολογίας του δικτύου. Η πραγματική διαμόρφωση του δικτύου γίνεται στο επίπεδο δικτύου, αλλά το στρώμα MAC παρέχει στήριξη σε δύο τύπους τοπολογιών δικτύου: star και peer - to - peer.

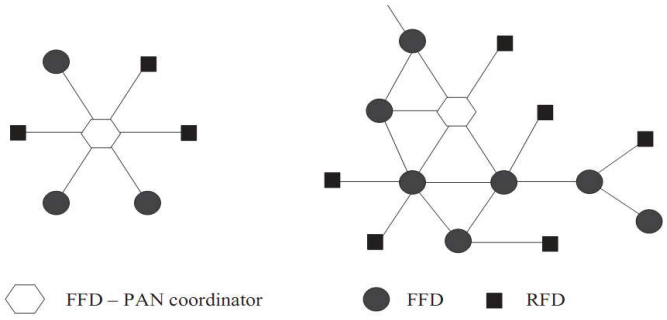
Στην τοπολογία αστέρα, μια FFD είναι ο συντονιστής PAN και βρίσκεται στο κέντρο του αστέρα. Όλες οι υπόλοιπες FFDs και RFDs συμπεριφέρονται ως γενικές διατάξεις και μπορούν να επικοινωνούν μόνο με τον συντονιστή, που συγχρονίζει όλες τις επικοινωνίες στο δίκτυο. Διαφορετικοί αστέρες που λειτουργούν στην ίδια περιοχή έχουν διαφορετικό αναγνωριστικό δικτύου PAN και λειτουργούν ανεξάρτητα μεταξύ τους.

Ένα παράδειγμα τοπολογίας αστέρα φαίνεται στο **Σχήμα. 4.2 α)**

Σε τοπολογία peer - to - peer, κάθε FFD είναι ικανή να επικοινωνεί με οποιαδήποτε άλλη συσκευή εντός εμβέλειας της. Μία FFD (συνήθως η FFD που ξεκίνησε το δίκτυο) ενεργεί ως συντονιστής PAN, και οι υπόλοιπες FFD ενεργούν σαν δρομολογητές ή τελικές συσκευές για να σχηματίσουν ένα δίκτυο πολλαπλών αλμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα. 4.2 β). Οι συσκευές RFD ενεργούν ως τελικές συσκευές και κάθε RFD συνδέεται μόνο με μια FFD.

α) τοπολογία Αστέρα **β) τοπολογία Peer - to - peer**

Σχήμα 5.2 : Τοπολογίες δικτύου που υποστηρίζονται από το IEEE 802.15.4 MAC layer



Πρόσβαση στο Κανάλι

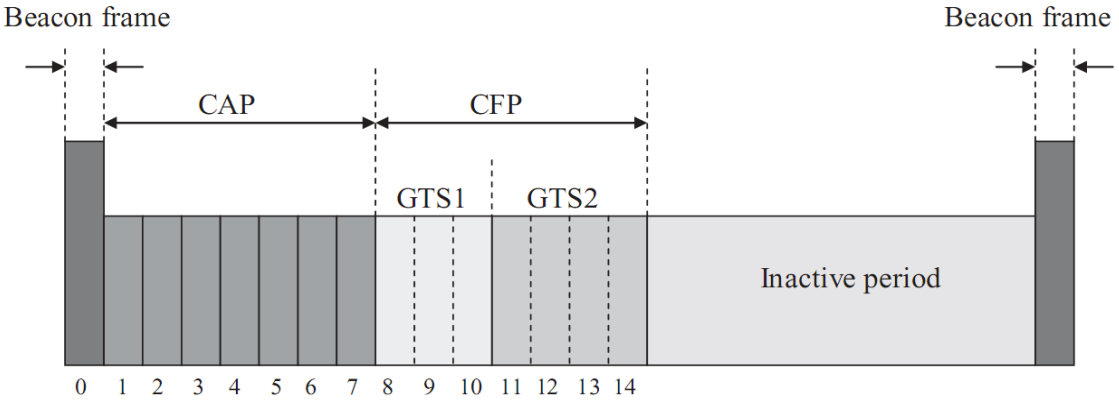
Το πρωτόκολλο MAC έχει δύο τύπους πρόσβασης του καναλιού : με δομή υπερπλαισίου (superframe) και χωρίς δομή υπερπλαισίου. Η πρόσβαση στο κανάλι με δομή υπερπλαισίου χρησιμοποιείται σε τοπολογίες αστέρα (μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σε τοπολογίες peer - to - peer που οργανώνονται σε δέντρα) και παρέχει το συγχρονισμό μεταξύ των κόμβων για να καταστεί δυνατή η εξοικονόμηση ενέργειας των συσκευών. Η πρόσβαση στο κανάλι χωρίς δομή υπερπλαισίου είναι πιο γενική και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη στήριξη των επικοινωνιών σε αυθαίρετες peer - to - peer τοπολογίες.

α)Επικοινωνία με δομή υπερπλαισίου

Ένα υπερπλαίσιο αποτελείται από ένα ενεργό και ένα ανενεργό τμήμα. Όλες οι επικοινωνίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια του ενεργού τμήματος. Ως εκ τούτου, ο συντονιστής PAN (και οι συνδεδεμένες συσκευές) μπορούν να εισέλθουν σε χαμηλής ισχύος sleep mode (λειτουργία ύπνου) κατά τη διάρκεια των ανενεργών τμημάτων. Το ενεργό τμήμα περιλαμβάνει έως 16 ίσου μεγέθους timeslots

(χρονοθυρίδες). Το πρώτο timeslot αποτελεί το πλαίσιο σηματοδότησης και αποστέλλεται από τον συντονιστή PAN για να ξεκινήσει το υπερπλαίσιο.

Τα πλαίσια σηματοδότησης χρησιμοποιούνται για το συντονισμό των συνδεδεμένων συσκευών, για την αναγνώριση του PAN, και την περιγραφή της δομή των υπερπλαισίων. Οι επικοινωνίες μεταξύ των τελικών συσκευών και του συντονιστή λαμβάνουν χώρα στα υπόλοιπα timeslots. Τα timeslots στο ενεργό τμήμα διαιρούνται σε μια περίοδο διεκδικούμενης πρόσβασης (contention access period - CAP) και (προαιρετικά)σε μια περίοδο χωρίς διεκδίκηση (contention free period – CFP).



Σχήμα 5.3 : Δομή υπερπλαισίου

Κατά την περίοδο της CAP, οι συσκευές ανταγωνίζονται για πρόσβαση στο κανάλι με τη χρήση CSMA - CA πρωτόκολλου (carrier sense multiple access with collision avoidance - τεχνική πολλαπλής πρόσβασης με αποφυγή σύγκρουσης). Αυτό σημαίνει ότι μια συσκευή που επιθυμεί να μεταδώσει πλαίσια στοιχείων πρώτα περιμένει για το πλαίσιο σηματοδότησης και στη συνέχεια επιλέγει τυχαία ένα timeslot για τη μετάδοση. Αν το επιλεγμένο timeslot είναι απασχολημένο, διότι μια άλλη επικοινωνία είναι ήδη σε εξέλιξη , η συσκευή επιλέγει τυχαία ένα άλλο timeslot . Αν το κανάλι είναι σε κατάσταση αδράνειας, η συσκευή μπορεί να ξεκινήσει τη μετάδοση στην επόμενη υποδοχή.

Η περίοδος χωρίς διεκδίκηση - CFP (Contention Free Period) είναι προαιρετική και χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτείται χαμηλή λανθάνουσα περίοδος ή εφαρμογές που απαιτούν συγκεκριμένες προδιαγραφές εύρους ζώνης. Για το σκοπό αυτό, ο συντονιστής PAN μπορεί να αναθέσει τμήματα του ενεργού υπερπλαισίου (που ονομάζονται εγγυημένα timeslots ή GTS) σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Τα GTSs διαμορφώνουν την CFP, η οποία ξεκινά πάντοτε στο τέλος του ενεργού υπερπλαισίου ξεκινώντας από ένα όριο slot αμέσως μετά την περίοδο πρόσβασης με διεκδίκηση (CAP - Contention Access Period) . Κάθε GTS μπορεί να περιλαμβάνει περισσότερες από μία χρονικές στιγμές και συνδέεται με μια ξεχωριστή εφαρμογή που έχει πρόσβαση χωρίς διεκδίκηση.

Σε κάθε περίπτωση, ο συντονιστής PAN αφήνει πάντα ένα επαρκή αριθμό πλαισίων, για την περίοδο CAP για τις άλλες συσκευές αλλά και για να διαχειριστεί τα πρωτόκολλα σύνδεσης / αποσύνδεσης. Σημειώστε επίσης ότι όλες οι συναλλαγές που βασίζονται στη διεκδίκηση πραγματοποιήθηκαν πριν από την έναρξη της CFP , καθώς και κάθε συσκευή που εκπέμπει σε μια GTS ολοκληρώνει τη μετάδοση της εντός του GTS. Η δομή υπερπλαίσιο φαίνεται στο Σχήμα. 5.3.

β)Επικοινωνία χωρίς δομή υπερπλαισίου

Ο συντονιστής PAN μπορεί να αποφύγει προαιρετικά τη χρήση μιας δομής υπερπλαίσιου (έτσι το PAN καλείται nonbeacon enabled – ενεργοποιημένη η κατάσταση μη σηματοδότησης). Στην περίπτωση αυτή, ο

συντονιστής PAN δεν στέλνει ποτέ σηματοδότες και η επικοινωνία γίνεται στη βάση του CSMA - CA πρωτοκόλλου, χωρίς εγκοπές. Ο συντονιστής είναι πάντα ενεργός και έτοιμος να λάβει δεδομένα από μία συσκευή, ενώ η μεταφορά των δεδομένων προς την αντίθετη κατεύθυνση γίνεται μέσω ερώτησης : η τερματική συσκευή ξυπνά περιοδικά και "ρωτά" τον συντονιστή για τα εκκρεμή μηνύματα. Ο συντονιστής ανταποκρίνεται στο αίτημα αυτό με την αποστολή των εκκρεμών μηνυμάτων ή με επισήμανση ότι δεν υπάρχουν διαθέσιμα μηνύματα.

Μοντέλα Μετάδοσης Δεδομένων

Το πρότυπο υποστηρίζει τρία μοντέλα μεταφοράς δεδομένων: α)**τελική συσκευή προς συντονιστή**, β)**συντονιστής σε μια τελική συσκευή**, και γ)**peer to peer**. Η τοπολογία αστέρα χρησιμοποιεί μόνο τα δύο πρώτα μοντέλα διότι η μεταφορά δεδομένων μπορεί να συμβεί μόνο μεταξύ του συντονιστή PAN και των άλλων συσκευών. Στην τοπολογία peer - to - peer, και τα τρία μοντέλα είναι εφικτά επειδή τα δεδομένα μπορούν να ανταλλάσσονται μεταξύ κάθε ζεύγους διατάξεων. Η πραγματική υλοποίηση των τριών μοντέλων μεταφοράς δεδομένων εξαρτάται από το αν το δίκτυο υποστηρίζει τη μετάδοση ραδιοφάρων ή σηματοδοσία (Beacon - Enabled Networks) ή όχι (NonBeacon - Enabled Networks) .

α)Μετάδοση δεδομένων σε Beacon - Enabled Networks.

Μετάδοση δεδομένων από Τελική Συσκευή σε Συντονιστή.

Η τελική συσκευή περιμένει πρώτα ένα ραδιοφάρο του δικτύου για συγχρονισμό με το υπερπλαίσιο. Όταν ο φάρος έχει ληφθεί, εφόσον κατέχει GTS (Guaranteed Time Slots), θα τα χρησιμοποιήσει άμεσα. Διαφορετικά, θα μεταδώσει το πλαίσιο δεδομένων στον συντονιστή με το αυλακωμένο CSMA - CA πρωτόκολλο σε ένα από τα πλαίσια κατά την περίοδο της CAP. Ο συντονιστής μπορεί να αναγνωρίσει προαιρετικά την επιτυχή λήψη των δεδομένων από τη μετάδοση ενός πλαισίου αναγνώρισης σε μια διαδοχική χρονική στιγμή. Αυτό το πρωτόκολλο φαίνεται στο Σχήμα. 5.4 α) .

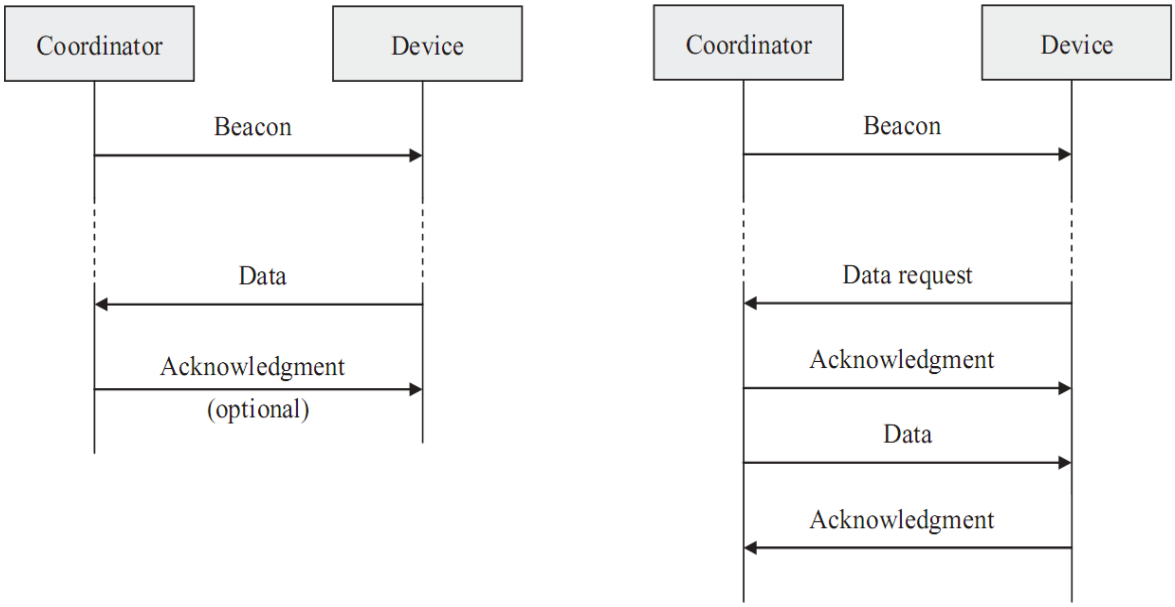
Μετάδοση δεδομένων από Συντονιστή σε Τελική Συσκευή.

Ο συντονιστής αποθηκεύει το μήνυμα (ένα πλαίσιο δεδομένων) και δηλώνει με τον φάρο του δικτύου ότι το μήνυμα των δεδομένων είναι σε εκκρεμότητα. Η συσκευή συνήθως κοιμάται την περισσότερη ώρα και περιοδικά ακούει στο φάρο του δικτύου για τον έλεγχο των εν αναμονή μηνυμάτων. Όταν διαπιστώσει ότι ένα μήνυμα εκκρεμεί, θα ζητήσει ρητά το μήνυμα από τον συντονιστή χρησιμοποιώντας το αυλακωμένο CSMA - CA κατά την περίοδο της CAP. Με τη σειρά του, ο συντονιστής θα στείλει το μήνυμα που εκκρεμεί κατά την περίοδο της CAP με το αυλακωμένο CSMA - CA. Έτσι η συσκευή θα αναγνωρίσει τη λήψη των στοιχείων με την μετάδοση ενός πλαισίου αναγνώρισης σε μια διαδοχική χρονική στιγμή, έτσι ώστε ο συντονιστής να μπορεί να αφαιρέσει το εκκρεμές μήνυμα από την λίστα του. Αυτό το πρωτόκολλο φαίνεται στο Σχήμα. 5.4 β)**.**

Μετάδοση δεδομένων Peer - to - Peer.

Εάν ο αποστολέας ή ο δέκτης είναι μια τελική συσκευή, χρησιμοποιείται ένα από τα παραπάνω μοντέλα μεταφοράς δεδομένων που προαναφέραμε. Σε αντίθετη περίπτωση, τόσο η πηγή όσο και ο προορισμός είναι συντονιστές και στέλνουν τους δικούς τους φάρους σηματοδοσίας. Σε αυτή την περίπτωση, ο αποστολέας πρέπει πρώτα να συγχρονιστεί με τον φάρο του προορισμού και να λειτουργήσει ως τελική συσκευή. Τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν προκειμένου να συγχρονιστούν οι συντονιστές είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής του προτύπου IEEE 802.15.4 και ως εκ τούτου τα έχουν αναλάβει τα ανώτερα στρώματα.

α) από Τελική Συσκευή σε Συντονιστή **β) από Συντονιστή σε Τελική Συσκευή**



Σχήμα 5.4 : Δομές μετάδοσης δεδομένων σε Beacon - Enabled Networks

β)Μετάδοση Δεδομένων σε Nonbeacon - Enabled Networks.

Μετάδοση δεδομένων από Τελική Συσκευή σε Συντονιστή.

Η τελική συσκευή μεταδίδει απευθείας πλαίσιο δεδομένων της στον συντονιστή χρησιμοποιώντας το χωρίς εγκοπές, CSMA - CA πρωτόκολλο. Ο συντονιστής αναγνωρίζει την επιτυχή λήψη των δεδομένων μεταδίδοντας ένα προαιρετικό πλαίσιο αναγνώρισης. Αυτό το πρωτόκολλο φαίνεται στο Σχήμα. 5.5 α).

Μετάδοση δεδομένων από Συντονιστή σε Τελική Συσκευή.

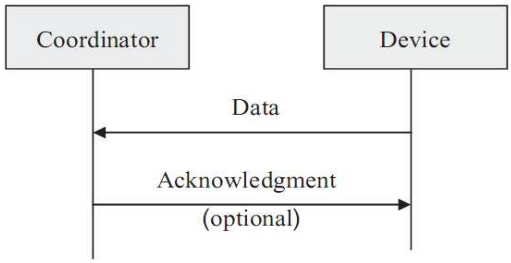
Ο συντονιστής αποθηκεύει το μήνυμα (ένα πλαίσιο δεδομένων) και περιμένει μια συσκευή για να ζητήσει τα δεδομένα. Μια συσκευή μπορεί να ζητήσει από τον συντονιστή τα εν αναμονή μηνύματα με τη μετάδοση αιτήματος χρησιμοποιώντας το χωρίς εγκοπές, CSMA - CA πρωτόκολλο (το αίτημα αυτό πραγματοποιείται σε διάστημα καθορισμένο από την εφαρμογή). Ο συντονιστής αναγνωρίζει την επιτυχή παραλαβή της αίτησης, διαβιβάζοντας ένα πλαίσιο επιβεβαίωσης. Αν υπάρχουν εκκρεμή μηνύματα, ο συντονιστής μεταδίδει τα μηνύματα στη συσκευή χρησιμοποιώντας το χωρίς εγκοπές, CSMA - CA πρωτόκολλο. Διαφορετικά, αν δεν υπάρχουν μηνύματα που εκκρεμούν, ο συντονιστής διαβιβάζει ένα μήνυμα με μηδενικό - ωφέλιμο φορτίο (το οποίο δείχνει ότι δεν υπάρχουν εκκρεμή μηνύματα). Η συσκευή αναγνωρίζει την επιτυχή λήψη των μηνυμάτων με τη μετάδοση ενός πλαισίου αναγνώρισης, έτσι ώστε ο συντονιστής να μπορεί να διαγράψει τα εκκρεμή μηνύματα. Αυτό το πρωτόκολλο φαίνεται στο Σχήμα. 5.5 β).

Μετάδοση δεδομένων Peer - to - Peer.

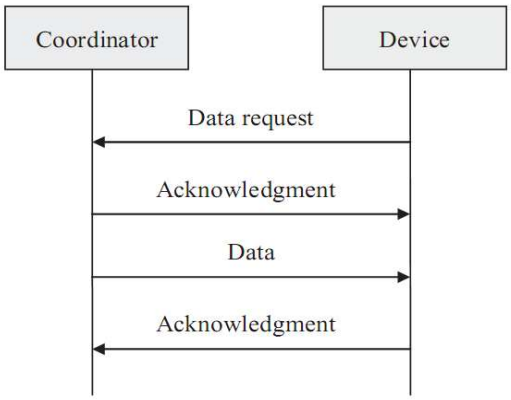
Σε peer - to - peer PANs, κάθε συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με άλλες συσκευές εντός της εμβέλειας της. Για να επιτευχθεί αυτή η επικοινωνία αποτελεσματικά, οι συσκευές που επιθυμούν να επικοινωνούν πρέπει είτε (1) να κρατήσουν το ραδιόφωνο συνεχώς ενεργό, ώστε να είναι έτοιμες να υποδεχθούν τα εισερχόμενα μηνύματα ή (2)να συγχρονιστούν μεταξύ τους. Στην πρώτη περίπτωση, η συσκευή μπορεί να μεταδώσει απευθείας τα δεδομένα χρησιμοποιώντας χωρίς εγκοπές, CSMA - CA, ενώ στη δεύτερη

περίπτωση η συσκευή πρέπει να περιμένει έως ότου η συσκευή προορισμού είναι έτοιμη για τη λήψη των δεδομένων. Σημειώστε, ωστόσο, ότι ο συγχρονισμός της συσκευής είναι πέρα από το πεδίο εφαρμογής του προτύπου IEEE 802.15.4 και επαφίεται στα ανώτερα στρώματα.

α) από Τελική Συσκευή σε Συντονιστή



β) από Συντονιστή σε Τελική Συσκευή



Σχήμα 5.5 : Δομές μετάδοσης δεδομένων σε Nonbeacon - Enabled Networks

5.3 Το Πρότυπο Zigbee

5.3.1 Γενική Επισκόπηση

Το ZigBee είναι μια ασύρματη τεχνολογία η οποία αναπτύχθηκε σαν ένα παγκόσμιο ανοιχτό πρότυπο για την υποστήριξη χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος M2M(machine to machine) δικτύωσης. Το ZigBee είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE 802.15.4 για χαμηλής ισχύος ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής και λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες μπάντες συχνοτήτων της τάξης των 868 MHz , 900 MHz και 2.4Ghz.

Η τεχνολογία που ορίζεται από το ZigBee προορίζεται να είναι απλούστερη και λιγότερο δαπανηρή από άλλες τεχνολογίες WPANs, όπως το Bluetooth.Δημιουργήθηκε από το ZigBee Alliance το οποίο είναι ένας οργανισμός που αποτελείται από εταιρείες και βιομηχανίες του χώρου για να υποστηρίξει εφαρμογές που χρησιμοποιούν ραδιοσυχνότητες (RF) και που απαιτούν χαμηλό ρυθμό δεδομένων, μεγάλη διάρκεια ζωής μπαταρίας(από 2 έως και 10 χρόνια!!) , μεγαλύτερη εμβέλεια και αμφίδρομη επικοινωνία. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η υποστήριξη Mesh Networking που προσδίδει περισσότερη αξιοπιστία και σταθερότητα στο δίκτυο.

Αξίζει να παρουσιάσουμε μια λίστα με τα πρότυπα ZigBee που έχουν αναπτυχθεί ή αναπτύσσονται για διαφορετικές εφαρμογές :

- **ZigBee Home Automation :** Το πρότυπο αυτό προσφέρει διαλειτουργικότητα οικιακών συσκευών με αποτέλεσμα ένα “έξυπνο” σπίτι που μπορεί να ελέγχει τις συσκευές αυτές και το φωτισμό,να διαχειρίζεται την ενέργεια και την ασφάλεια αλλά και λόγω της επεκτασιμότητας να μπορεί να συνδέεται και με άλλα δίκτυα ZigBee.
- **ZigBee Building Automation :** Είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο (και το μοναδικό ασύρματο) για διαλειτουργικά προϊόντα που επιτρέπουν την ασφαλή παρακολούθηση αλλά και τον έλεγχο συστημάτων εμπορικών κτιρίων και μη.

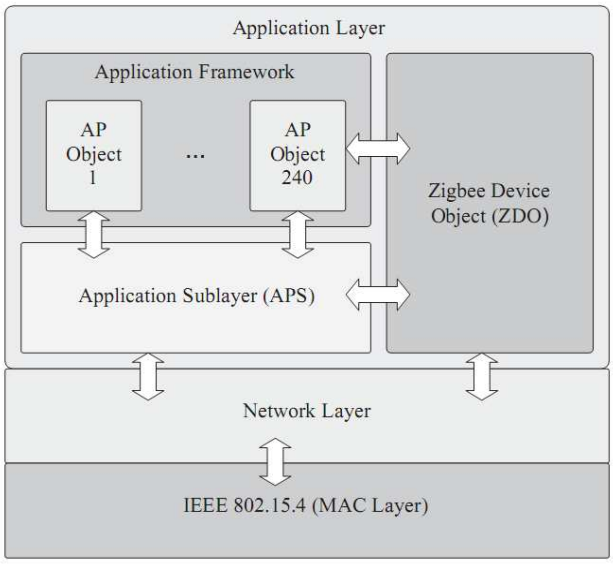
- **ZigBee Smart Energy :** Είναι το μεγαλύτερο πρότυπο παγκοσμίως για διαλειτουργικά προϊόντα που παρακολουθούν, ελέγχουν, ενημερώνουν και αυτοματοποιούν την μεταφορά και τη χρήση ενέργειας και νερού μετατρέποντας τα σπίτια σε πιο οικολογικά.
- **ZigBee Telecommunication Services :** Είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο το οποίο παρέχει ένα ευρύ φάσμα νέων υπηρεσιών προστιθέμενης αξίας, συμπεριλαμβάνοντας την παροχή πληροφοριών, mobile gaming, location-based services, ασφαλείς πληρωμές μέσω κινητού τηλεφώνου, κινητή διαφήμιση, φορητό έλεγχο πρόσβασης γραφείου, πληρωμές, και peer-to-peer υπηρεσίες ανταλλαγής δεδομένων .
- **ZigBee Health Care :** Είναι ένα παγκόσμιο πρότυπο για διαλειτουργικά προϊόντα που επιτρέπουν ασφαλή και αξιόπιστη παρακολούθηση και διαχείριση μη κρίσιμων, χαμηλής οξύτητας υπηρεσιών υγειονομικής περίθαλψης που απευθύνονται σε χρόνιες νόσους, στη γήρανση και την γενική υγεία καθώς και στην ευεξία και τη φυσική κατάσταση.
- **ZigBee Remote Control :** Δημιουργήθηκε με σκοπό να αντικαταστήσει την τεχνολογία της υπέρυθρης ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται παραπάνω από 30 χρόνια στον τηλεχειρισμό ηλεκτρονικών συσκευών (εικόνας και ήχου) και παρέχει αμφίδρομη επικοινωνία με τις συσκευές σε ακόμα μεγαλύτερη απόσταση από πριν ανεξαρτήτως εμποδίων ενώ ακόμα δίνει μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία στις μπαταρίες των τηλεχειριστηρίων.
- **ZigBee Retail Services :** Είναι ένα πρότυπο το οποίο δημιουργήθηκε έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί στον τομέα του λιανικού εμπορίου. Έχει ως στόχο να δώσει στην λιανική αγορά νέες δυνατότητες μέσω της βελτίωσης στην ποιότητα, τη διαχείριση και την αποτελεσματικότητα της αλυσίδας τροφοδοσίας, εκτός από την ικανοποίηση του πελάτη.
- **ZigBee Input Device :** Είναι νέο ένα παγκόσμιο πρότυπο για πιο οικολογικές, καινοτόμες και εύκολες στη χρήση συσκευές εισόδου που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές (ποντίκια, πληκτρολόγια, touchpads) και σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές επιτρέποντας την χρήση τους από μεγαλύτερες αποστάσεις ή ακόμη και από άλλα δωμάτια αφού η λειτουργία τους δεν περιορίζεται από οπτική επαφή.Επίσης οι μπαταρίες των συσκευών αυτών μπορούν να διαρκούν περισσότερο λόγω της εξοικονόμησης ενέργειας ή και να απαιτούν λιγότερες μπαταρίες για να λειτουργήσουν.

- **ZigBee 3D Sync :** Θα είναι ένα πρότυπο για πιο άνετη, ευέλικτη και ευχάριστη θέαση 3D HD υλικού που δεν θα επηρεάζεται από την κίνηση του χρήστη και από παρεμβολές του ατμοσφαιρικού φωτισμού ενώ θα κάνει τα προϊόντα πιο οικολογικά και με καλύτερη ενεργειακή απόδοση.

5.3.2 Αρχιτεκτονική Πρωτοκόλλου

Το ZigBee προδιαγράφει τα επίπεδα δικτύου και εφαρμογής. Το επίπεδο δικτύου παρέχει υποστήριξη σε τοπολογίες δικτύων αστέρα, δένδρου και peer - to - peer πολλαπλής αναπήδησης, ενώ το επίπεδο εφαρμογών παρέχει ένα πλαίσιο για την ανάπτυξη κατανεμημένων εφαρμογών και την επικοινωνία.

Το επίπεδο εφαρμογών εμπεριέχει το πλαίσιο εφαρμογής, τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZDO),και το υπόστρωμα στήριξης της εφαρμογής (APS). Το πλαίσιο εφαρμογής περιέχει πάνω από 240 αντικείμενα εφαρμογής (APO), τα οποία είναι αυτοτελής ενότητες που καθορίζονται από τον χρήστη και ενσωματώνουν εφαρμογές ZigBee. Το ZDO παρέχει υπηρεσίες που επιτρέπουν στα αντικείμενα εφαρμογής (APO) να οργανωθούν σε μια κατανεμημένη εφαρμογή. Το APS παρέχει υπηρεσίες διαχείρισης και δεδομένων στα APO και το ZDO. Μια επισκόπηση της στοίβας πρωτοκόλλου ZigBee φαίνεται στο Σχήμα 4.6 ενώ ο πίνακας 4.2 συνοψίζει τα ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται σε αυτήν την ενότητα.



Σχήμα 5.6 : Αρχιτεκτονική επιπέδου λειτουργίας και στοίβα πρωτοκόλλου ZigBee

Ακρωνύμιο	Ορισμός
APO	Application Objects
APS	Application Sublayer
RDT	Route Discovery Table of the network layer
RREQ	Route Request message (network layer)
RREP	Route Reply message (network layer)
RT	Routing Table of the network layer
ZDO	ZigBee Device Object

Πίνακας 5.2 : Ακρωνύμια που χρησιμοποιούνται στα επίπεδα δικτύου και εφαρμογής του ZigBee

5.3.3 Επίπεδο Δικτύου

Το επίπεδο δικτύου παρέχει υπηρεσίες για την ενεργοποίηση του δικτύου, τη διευθυνσιοδότηση της συσκευής, τη διαχείριση της δρομολόγησης και τη διαχείριση των συνδέσεων και αποσυνδέσεων των συσκευών. Στο στρώμα MAC,σε αντίθεση με το πρότυπο IEEE 802.15.4, οι υπηρεσίες επιπέδου δικτύου ορίζονται μόνο από την άποψη της αίτησης, της ένδειξης, και επιβεβαίωσης των προτύπων.

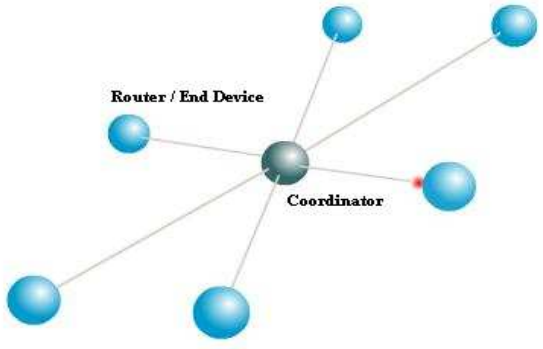
Το επίπεδο δικτύου καθορίζει τρείς διαφορετικούς τύπους συσκευών δικτύου:

- ***ZC - ZigBee coordinator (συντονιστής)*** *FFD*: Είναι η πιο ικανή συσκευή, ο συντονιστής αποτελεί τη ρίζα του δέντρου δικτύου και μπορεί να γεφυρώσει με άλλα δίκτυα. Υπάρχει ένας μόνο ZigBee συντονιστής σε κάθε δίκτυο, δεδομένου ότι είναι η συσκευή που ξεκίνησε το δίκτυο αρχικά. Είναι σε θέση να αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της λειτουργίας του και ως κέντρο αποθήκευσης και προστασίας για τα κλειδιά ασφαλείας.
- ***ZR - ZigBee Router (δρομολογητής)*** *FFD* : Καθώς τρέχει μια λειτουργία εφαρμογής, ένας δρομολογητής μπορεί να ενεργεί ως ενδιάμεσος δρομολογητής, μεταβιβάζοντας δεδομένα από άλλες συσκευές.
- ***ZED - ZigBee End Device (τελική συσκευή)*** *RFD*: Είναι τόσο λειτουργική ώστε να μπορεί να μιλά με τον κόμβο γονέα (είτε είναι συντονιστής είτε δρομολογητής).Δεν μπορεί να αναμεταδώσει δεδομένα από άλλες συσκευές. Η σχέση αυτή επιτρέπει τον κόμβο να βρίσκεται σε κατάσταση "ύπνου" για αρκετά μεγάλο χρόνο δίνοντας έτσι μεγάλη διάρκεια ζωής στη μπαταρία. Μια τελική συσκευή ZED απαιτεί την ελάχιστη ποσότητα μνήμης, και επομένως μπορεί να είναι φθηνότερο για να παραχθεί από ένα ZR ή ZC.

Τοπολογίες Δικτύου ZigBee

- **Τοπολογία Αστέρα (Star)**

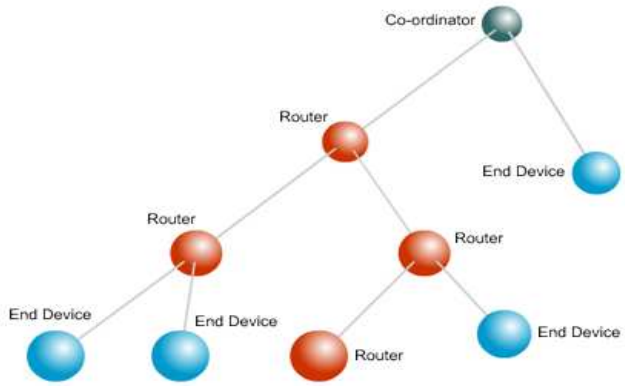
Η τοπολογία αστέρα (που φυσικά είναι αποτύπωση της τοπολογίας αστέρα του IEEE 802.15.4) περιλαμβάνει ένα συντονιστή (Coordinator) και μια ή περισσότερες τελικές συσκευές (τερματικά). Στην τοπολογία αστέρα, όλες οι τελικές συσκευές επικοινωνούν μόνο με τον Συντονιστή. Αν κάποια τελική συσκευή χρειαστεί να μεταφέρει δεδομένα σε μια άλλη τελική συσκευή, στέλνει τα δεδομένα στον Συντονιστή. Αυτός στην συνέχεια, τα προωθεί στον τελικό αποδέκτη. Τα τερματικά, είναι φυσικά και ηλεκτρικά απομονωμένα μεταξύ τους, και ο μόνος τρόπος για να ανταλλάξουν πληροφορίες είναι μέσω του Συντονιστή. Ο αστέρας, θεωρείται δίκτυο μονής αναπήδησης (single hop), καθώς υπάρχει μόνο ένα επιτρεπτό μονοπάτι ανάμεσα σε οποιοδήποτε τερματικό και το Συντονιστή. Βασικά μειονεκτήματα της τοπολογίας αυτής, είναι ότι όλοι οι κόμβοι πρέπει να είναι εντός της εμβέλειας του Συντονιστή καθώς και ότι δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή εάν η σύνδεση RF μεταξύ του Συντονιστή και της συσκευής προορισμού αποτυγχάνει ενώ είναι πολύ πιθανό ο Συντονιστής να δεχθεί πολύ πληροφορία και να προκαλέσει συμφόρηση.



Σχήμα 5.7 : Τοπολογία Αστέρα

Ένας δρομολογητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση μιας τελικής συσκευής σε ένα δίκτυο αστέρα χωρίς όμως να μπορούν να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αναμετάδοσης των μηνυμάτων.

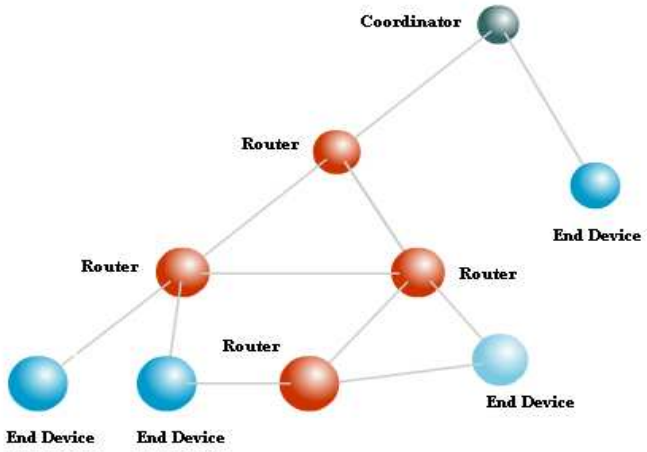
- **Τοπολογία Δέντρου (Tree)**



Σχήμα 5.8 : Τοπολογία Δέντρου

Μια άλλη τοπολογία δικτύου είναι αυτή του δέντρου (Tree). Σε αυτή την τοπολογία, οι τελικές συσκευές μπορούν να συνδεθούν είτε στον Συντονιστή του δικτύου είτε σε κάποιο Δρομολογητή. Οι Δρομολογητές, επιτελούν δύο λειτουργίες. Μια είναι η αύξηση του μέγιστου αριθμού των συσκευών που μπορούν να υπάρχουν στο δίκτυο. Η άλλη είναι η αύξηση της φυσικής εμβέλειας του δικτύου. Με την προσθήκη ενός Δρομολογητή, η τελική συσκευή δεν χρειάζεται να βρίσκεται εντός της εμβέλειας του Συντονιστή. Όλα τα μηνύματα σε αυτή την τοπολογία κινούνται με την ιεραρχία δέντρου. Το Δέντρο, είναι ουσιαστικά πολλοί Αστέρες, όπου οι κεντρικοί κόμβοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους. Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, τα τερματικά δεν έχουν άμεση επικοινωνία μεταξύ τους, αλλά, όλα τα μηνύματα πρέπει να περάσουν από τουλάχιστον ένα Δρομολογητή ή το Συντονιστή. Η τοπολογία αυτή, θεωρείται πολλαπλών αναπηδήσεων (multi hop), καθώς υπάρχουν πολλά μονοπάτια επικοινωνίας ενός κόμβου με το Συντονιστή. Το μειονέκτημα αυτής της τοπολογίας είναι ότι δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή σε περίπτωση που αποτυχίας της βασικής σύνδεσης.

Την αναμετάδοση των μηνυμάτων την χειρίζεται η στοίβα του λογισμικού και είναι φανερή στα προγράμματα της εφαρμογής.

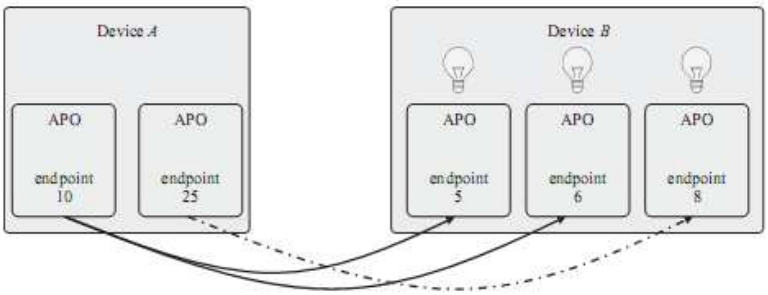


Σχήμα 5.9 : Τοπολογία Πλέγματος

5.3.4 Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής καθορίζει το πλαίσιο της εφαρμογής κάτω από το οποίο οι προγραμματιστές αναπτύσουν τις εφαρμογές σύμφωνα με τα αντικείμενα εφαρμογής (APOs).Τα αντικείμενα αυτά αξιοποιούν τις υπηρεσίες που τους προσφέρονται από το αντικείμενο συσκευής (ZDO) και το υπόστρωμα στήριξης της εφαρμογής (APS),το οποίο είναι υπεύθυνο για τους πίνακες υποχρεώσεων, την προώθηση των μηνυμάτων μεταξύ των συσκευών. τον προσδιορισμό και διαχείριση των διευθύνσεων, τη διεθυνσιοδότηση, τον κατακερματισμό και την επανασυναρμολόγηση των πακέτων και την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής ZigBee.Η συσκευή Α περιλαμβάνει δύο APOs (τα οποία είναι συνδεδεμένα στα τελικά σημεία 10 και 25 αντίστοιχα) καθένα από τα οποία ελέγχει έναν διακόπτη. Η συσκευή Β περιλαμβάνει τρία APOs (τα οποία είναι συνδεδεμένα στα τελικά σημεία 5,6 και 8 αντίστοιχα) και το καθένα από αυτά ελέγχει μια λάμπα. Ο ένας διακόπτης (10Α) ελέγχει 2 λάμπες (5Β και 6Β) και ο άλλος (25Α) ελέγχει την λάμπα 8Β.



Σε αυτό το απλό παράδειγμα τα APOs 5 Β , 6 Β , και 8 Β θα μπορούσαν να έχουν μια απλή ιδιότητα,του να περιλαμβάνουν την κατάσταση (on/off) της λάμπας που ελέγχουν και με αυτόν τον τρόπο να είναι δυνατή η απομακρυσμένη ρύθμισή της από τα APOs 10 Α και 25 Α .

Σχήμα 5.10 : Ένα απλό παράδειγμα εφαρμογής ZigBee

Με σκοπό την προδιαγραφή των υπηρεσιών και των εφαρμογών, το πρότυπο ZigBee εισάγει την έννοια των Clusters και των Profiles. Ένα Cluster (συστοιχία) είναι μια προδιαγραφή σε τυποποιημένη μορφή των μηνυμάτων που διαχειρίζεται ένα APO. Τα Clusters είναι αριθμημένα μέσα σε συγκεκριμένο προφίλ εφαρμογής με ένα αναγνωριστικό της τάξης των 8 - bit.

Το Profile (προφίλ εφαρμογής) είναι η προδιαγραφή σε τυποποιημένη μορφή της συμπεριφοράς της εφαρμογής, που λειτουργεί ενδεχομένως σε διάφορες συσκευές ZigBee. Τα προφίλ εφαρμογής περιγράφουν μια σειρά από συσκευές και συστοιχίες (Clusters) ενώ προσδιορίζοντα από ένα μοναδικό αριθμό αναγνώρισης, ο οποίος αποδίδεται από τη συμμαχία ZigBee.

5.3.5 Ασφάλεια

Το μοντέλο ασφάλειας στο ZigBee εξασφαλίζει την προστασία των συσκευών, αλλά όχι τις εφαρμογές στην ίδια συσκευή. Αυτό επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση του ίδιου κρυπτογραφημένου υλικού μεταξύ των διαφόρων στρωμάτων στην ίδια συσκευή, μειώνοντας έτσι το κόστος αποθήκευσης.

Οι απαιτήσεις ασφάλειας είναι :

- η ακεραιότητα των μηνυμάτων
- η πιστοποίηση συσκευής
- η κρυπτογράφηση των μηνυμάτων και
- η φρεσκάδα των μηνυμάτων (προς αποφυγή των διπλών μηνυμάτων).

Η πιστοποίηση των συσκευών και η κρυπτογράφηση είναι δυνατές είτε σε επίπεδο δικτύου είτε στο επίπεδο της συσκευής ενώ σε επίπεδο δικτύου επιτυγχάνονται με τη χρήση ενός κοινού κλειδιού δικτύου. Αυτό αποτρέπει τις εξωτερικές επιθέσεις, προσθέτοντας παράλληλα λίγο κόστος στη μνήμη. Η πιστοποίηση και η κρυπτογράφηση σε επίπεδο συσκευής επιτυγχάνονται με τη χρήση μοναδικών κλειδιών σύνδεσης μεταξύ ζευγαριών συσκευών. Αυτό αποτρέπει εσωτερικές και εξωτερικές επιθέσεις αλλά έχει υψηλότερο κόστος σε μνήμη.

Η αρχιτεκτονική ZigBee περιλαμβάνει μηχανισμούς ασφάλειας τόσο στο στρώμα του δικτύου όσο και στο στρώμα εφαρμογής. Το επίπεδο δικτύου είναι υπεύθυνο για την ασφαλή μετάδοση των εξερχόμενων πλαισίων και την ασφαλή λήψη των εισερχόμενων .Ενισχύει την ασφάλεια χρησιμοποιώντας συμμετρική κρυπτογράφηση των εξερχόμενων μηνυμάτων και αποκρυπτογράφηση εισερχόμενων μηνυμάτων χρησιμοποιώντας τα κλειδιά που παρέχονται από το επίπεδο εφαρμογής. Παρατηρείται ότι ακόμη και αν η ασφάλεια είναι ενεργοποιημένη κάποια μηνύματα εντολής δεν μπορούν να κρυπτογραφηθούν. Αυτό συμβαίνει, για παράδειγμα, στα μηνύματα που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν νέες συσκευές στο δίκτυο.

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει τις υπηρεσίες για τη διαχείριση των πολιτικών ασφαλείας και των κλειδιών. Για το σκοπό αυτό, το ZigBee ορίζει το Trust Center (Κέντρο Αξιοπιστίας - που υποτίθεται ότι βρίσκεται στον συντονιστή ZigBee) που είναι υπεύθυνο για την παροχή κλειδιά για τις άλλες συσκευές του δικτύου. Το κέντρο αξιοπιστίας δημιουργεί τα κλειδιά για την πιστοποίηση και τη κρυπτογράφηση σε επίπεδο δικτύου και συσκευής και διατηρεί μια λίστα των συνδεδεμένων συσκευών και τα κλειδιά που είναι σε χρήση. Οι συσκευές στο δίκτυο εγκαθιστούν έναν ασφαλή δίαυλο επικοινωνίας με το Κέντρο Αξιοπιστίας να έχει το κύριο κλειδί ,το οποίο θα μπορούσε να είναι είτε προκαθορισμένο ή να παρέχεται στις συσκευές μέσω ειδικών διαδικασιών (θα μπορούσε να εισαχθεί χειροκίνητα από το χρήστη), και χρησιμοποιούν ασφαλή δίαυλο για να ζητήσουν από το Κέντρο Αξιοπιστίας τα κλειδιά για τις ανάγκες τους.

Κεφάλαιο 6. Xbee/Xbee Pro RF Module

6.1 Xbee/Xbee Pro RF Modules

Για τις ανάγκες εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας ,αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε τα modem **Xbee** και **Xbee Pro** της εταιρείας **Digi.**Τα συγκεκριμένα modem έχουν κατασκευαστεί για να ανταποκρίνονται πλήρως στα πρότυπα του **IEEE 802.15.4** , ενώ βασικός τους στόχος είναι να υποστηρίξουν τις ιδιαίτερες ανάγκες για χαμηλό κόστος και ελάχιστες ενεργειακές απαιτήσεις των ασύρματων δικτύων αισθητήρων .Οι ενότητες αυτές έχουν την ικανότητα τροφοδοτούμενες από ελάχιστη ενέργεια να παρέχουν υψηλή αξιοπιστία κατά τη μεταφορά των δεδομένων μεταξύ των συσκευών. Οι ενότητες **Xbee** και **Xbee Pro** λειτουργούν εντός της **ISM** μπάντας συχνοτήτων και εκπέμπουν στην συχνότητα των 2,4 Ghz.



Εικόνα 6.1 : Τα Xbee/Xbee Pro 802.15.4 OEM RF Modules

Βασικά χαρακτηριστικά Xbee/Xbee Pro 802.15.4 OEM RF Modules :

- **Υψηλό εύρος ζώνης που φτάνει τα 250kbps**
- **Ακεραιότητα μετάδοσης δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις**

	Xbee	Xbee Pro
Εσωτερικοί χώροι	**Μέχρι 30m**	**Μέχρι 90m**
Εξωτερικοι με οπτική επαφή	**Μέχρι 90m**	**Μέχρι 1600m**

Πίνακας 6.1 : Μέγιστες αποστάσεις επικοινωνίας μεταξύ των modules

- **Χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση**

	Xbee	Xbee Pro
Εκπομπή Tx	45 mA	250 mA
Λήψη Rx	50 mA	55 mA
Απενεργοποίηση	< 10 μA	< 10 μA

Πίνακας 6.2 : Ενεργειακή κατανάλωση κατά την εκπομπή, λήψη και απενεργοποίηση των modules

- **Υπηρεσίες δικτύωσης και ασφάλειας**

  Τα Xbee/Xbee Pro RF Modules παρέχουν προηγμένες υπηρεσίες δικτύωσης και ασφάλειας στους χρήστες όπως :

  - Retries and Acknowledgements
  - DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
  - Κάθε κανάλι έχει διαθέσιμες πάνω από 65.000 μοναδικές διευθύνσεις
  - Διευθυνσιοδότηση Πηγής/Προορισμού
  - Επικοινωνία προς έναν και προς πολλούς (Unicast & Broadcast)
  - Υποστήριξη τοπολογιών σημείο σε σημείο, σημείο σε πολλαπλά σημεία και peer to peer

- **Υποστήριξη ADC (μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό) και Digital I/O Line passing**

- **Ευκολία στη χρήση προσφέρωντας :**
  - Άμεση επικοινωνία χωρίς ρυθμίσεις για απευθείας χρήση
  - Δωρεάν λογισμικό διαχείρισης των modules (X-CTU)
  - AT και API Command Modes για την παραμετροποίηση των modules
  - Εκτεταμένο σύνολο εντολών

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	Up to 100 ft (30 m)	Up to 300 ft. (90 m), up to 200 ft (60 m) international variant
Outdoor RF line-of-sight Range	Up to 300 ft (90 m)	Up to 1 mile (1600 m), up to 2500 ft (750 m) international variant
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	63mW (18dBm)* 10mW (10 dBm) for international variant
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)	1200 bps - 250 kbps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	250mA (@3.3 V) (150mA for international variant) RPSMA module only: 340mA (@3.3 V) (180mA for international variant)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector, RPSMA Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	PAN ID, Channel and Addresses
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	R201WW07215214	R201WW08215111 (Max. 10 dBm transmit power output)*
Australia	C-Tick	C-Tick

Πίνακας 6.3 : Προδιαγραφές Xbee/Xbee Pro RF Modules

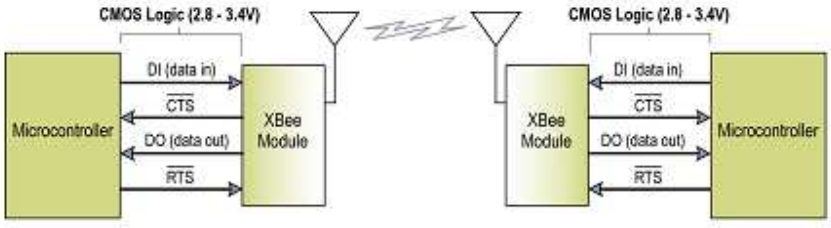
6.2 Λειτουργία RF Module

6.2.1 Σειριακή Επικοινωνία

Τα Xbee/Xbee Pro RF modules διασυνδέονται σε μια κεντρική συσκευή μέσω μιας λογικού επιπέδου ασύγχρονης σειριακής θύρας. Έτσι μέσω της σειριακής αυτής τους θύρας οι ενότητες αυτές μπορούν να επικοινωνήσουν με οποιαδήποτε λογική και συμβατική σε τάση συσκευή **UART** (Universal Asynchronous Receiver Transmitter – Ασύγχρονοι Πομποδέκτες).

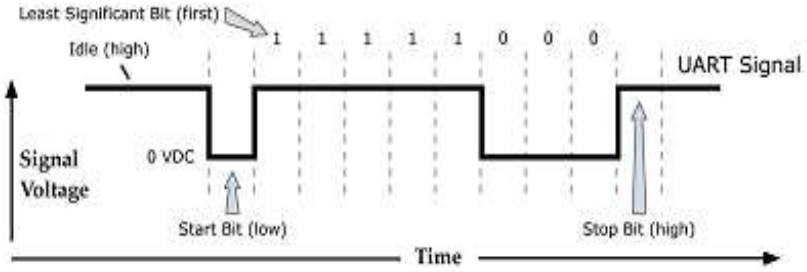
6.2.1.1 UART Ροή Δεδομένων

Οι συσκευές που διαθέτουν διεπαφή UART μπορούν να συνδεθούν απευθείας στα pins της ενότητας RF όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 6.2 : Διάγραμμα Ροής Δεδομένων Συστήματος σε περιβάλλον διεπαφής UART

Τα δεδομένα έρχονται στην ενότητα UART δια μέσου του DI pin (pin3) σαν ένα ασύγχρονο σειριακό σήμα. Όταν δεν υπάρχει μετάδοση δεδομένων το σήμα θα πρέπει να είναι αδρανές 1.Κατά την μετάδοση όμως δεδομένων αποστέλλεται πρώτα ένα bit εκκίνησης (low-0),έπειτα τα 8 bit δεδομένων (LSB-το λιγότερο σημαντικό bit πρώτο) και ένα bit τερματισμού (high-1).Το παρακάτω σχήμα εικονογραφεί τη σειριακή ροή bit που διέρχονται από την ενότητα RF για να αποσταλούν.



Σχήμα 6.3 : Πακέτο δεδομένων UART 0x1F (αριθμός 31 σε hex) όπως μεταδίδεται δια μέσου της ενότητας RF

6.2.1.2 Έλεγχος Ροής Δεδομένων

Ενδιάμεση μνήμη DI (Data In) Buffer. Κατά την είσοδο των σειριακών δεδομένων στην ενότητα RF δια μέσου του DI pin (pin3) γίνεται αποθήκευση τους στην ενδιάμεση μνήμη DI Buffer μέχρι να υποστούν επεξεργασία. Όταν υπολείπονται στην ενδιάμεση μνήμη 17 bytes για να γεμίσει τότε από προεπιλογή η ενότητα επιβάλλει την τιμή 1 στην παράμετρο CTS έτσι ώστε να ειδοποιήσει την συσκευή να σταματήσει να στέλνει δεδομένα. Η τιμή του CTS επιστρέφει στην τιμή 0 όταν υπάρχουν 34 bytes διαθέσιμα στην ενδιάμεση μνήμη.

Τρόποι εξάλειψης της ανάγκης για έλεγχο ροής:

- Αποστολή μηνυμάτων μικρότερα από 202bytes που είναι το μέγεθος της ενδιάμεσης μνήμης DI.
- Διασύνδεση σε χαμηλότερο ρυθμό (παράμετρος BD) από το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων στο κανάλι

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε την πιθανότητα υπερχείλισης της ενδιάμεσης μνήμης DI.Αυτό μπορεί να συμβεί όταν η ενότητα λαμβάνει μια συνεχής ροή δεδομένων RF.Τα σειριακά δεδομένα κατά τη λήψη τους στο DI pin αποθηκεύονται στην ενδιάμεση μνήμη DI.Τα δεδομένα που βρίσκονται στην ενδιάμεση μνήμη θα μεταδοθούν δια μέσου του ασύρματου καναλιού όταν η ενότητα σταματήσει να λαμβάνει δεδομένα RF στο δίκτυο.

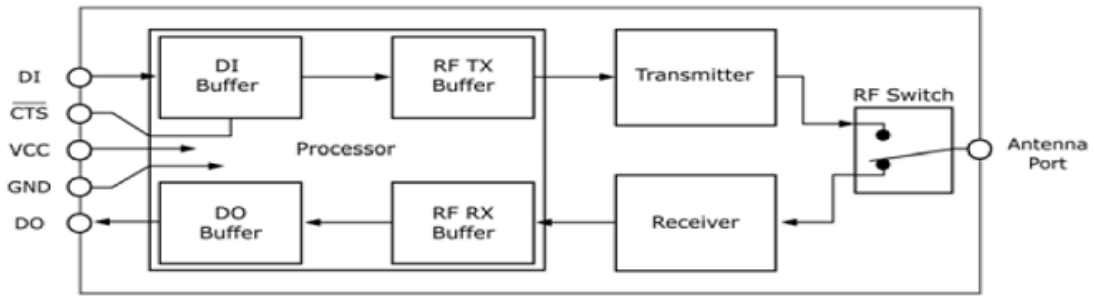
Ενδιάμεση μνήμη DO (Data Out) Buffer

Όταν έχουμε λήψη δεδομένων RF,τα δεδομένα εισέρχονται στην ενδιάμεση μνήμη DO Buffer και αποστέλλονται στην συσκευή φιλοξενίας μέσω της σειριακής θύρας.Είναι σημαντικό να τονίσουμε πως όταν η ενδιάμεση μνήμη DO τείνει να γεμίσει, τα δεδομένα RF που λαμβάνονται θα χαθούν. Για το λόγο αυτό υπάρχει ο **έλεγχος ροής υλικού RTS. Εάν το RTS είναι ενεργοποιημένο για έλεγχο ροής, τα δεδομένα δεν θα σταλούν εάν δεν αλλάξει η τιμή της παραμέτρου.**

Περιπτώσεις κατά τις οποίες είναι πιθανό το γέμισμα και η υπερχείληση της ενδιάμεσης μνήμης DO:

- Εάν ο ρυθμός των δεδομένων RF είναι ρυθμισμένος να είναι μεγαλύτερος από τον ρυθμό ροής δεδομένων της διεπαφής στην ενότητα τότε η ενότητα θα λαμβάνει δεδομένα RF από το ασύρματο κανάλι επικοινωνίας ταχύτερα από ότι θα αποστέλλει τα δεδομένα στη συσκευή φιλοξενίας.

- Εάν η συσκευή φιλοξενίας δεν επιτρέπει στην ενότητα να μεταδώσει δεδομένα δια μέσου της ενδιάμεσης μνήμης DO επειδή συγκρατείται από κάποιον έλεγχο ροής δεομένων υλικού ή λογισμικού.



Σχήμα 6.4 :.Εσωτερικό Διάγραμμα Ροής Δεδομένων

6.2.2 ADC και υποστήριξη ψηφιακής γραμμής εισόδου/εξόδου

Τα Xbee/Xbee Pro RF modules υποστηρίζουν την μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό που είναι γνωστή σε όλους και ως ADC(Analog-to-digital conversion) καθώς και τη λειτουργία του Digital I/O Line Passing.Μόλις τα 6 από αυτά υποστηρίζουν το ADC.Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα pin και τις πολλαπλές λειτουργίες που υποστηρίζουν καθώς και τις αντίστοιχες εντολές AT.

Σημείωση : όπου AD=Analog to Digital Converter και DIO=Digital Input/Output.)

Λειτουργία Pin	Αριθμός Pin	Εντολή AT
AD 0 / DIO 0	**20**	**D0**
AD 1 / DIO 1	**19**	**D1**
AD 2 / DIO 2	**18**	**D2**
AD 3 / DIO 3	**17**	**D3**
AD 4 / DIO 4	**11**	**D4**
AD5 / DIO 5	**15**	**D5**
DIO 6 / (RTS)	**16**	**D6**
DIO 7 / (CTS)	**12**	**D7**
DI 8 / (DTR)	**9**	**D8**

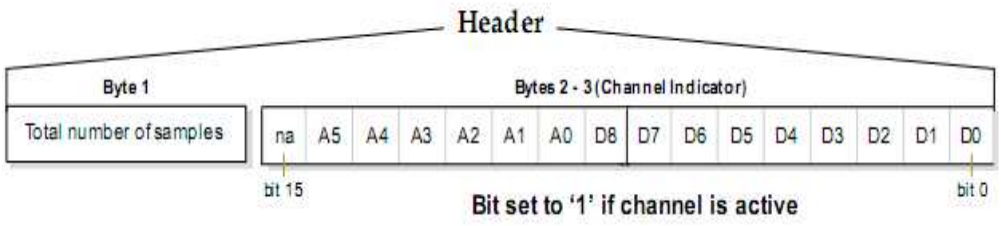
Πίνακας 6.4 : Λειτουργίες των pin και οι αντίστοιχοι αριθμοί και εντολές τους

Ωστόσο για να ενεργοποιήσουμε τις παραπάνω λειτουργίες των pin θα πρέπει να πρέπει να δώσουμε και τις ανάλογες εντολές που φαίνονται παρακάτω (όπου n=αριθμός pin) :

Για υποστήριξη ADC : Set ATDn = 2
Για υποστήριξη Digital Input : Set ATDn = 3
Για υποστήριξη Digital Output Low : Set ATDn = 4
Για υποστήριξη Digital Output High : Set ATDn = 5

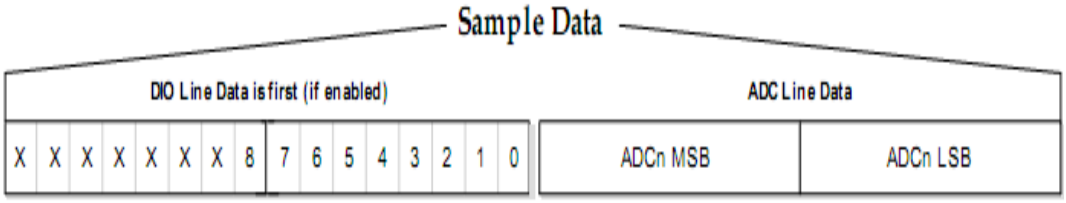
6.2.2.1 Μορφή Δεδομένων I/O

Τα δεδομένα I/O είναι ξεκινούν με μια κεφαλίδα (Header).Το πρώτο byte της κεφαλίδας αυτής προσδιορίζει τον αριθμό των δειγμάτων που ακολουθούν. Τα τελευταία δύο byte της κεφαλίδας (Channel Indicator-Δείκτης Καναλιού) προσδιορίζουν ποιές από τις εισόδους είναι ενεργές(το bit έχει την τιμή 1 εάν είναι ενεργό το κανάλι).Κάθε ένα από τα bit αντιπροσωπεύει είτε μια γραμμή DIO ή ένα κανάλι ADC.



Σχήμα 6.5 : Κεφαλίδα δεδομένων

Το δείγμα των δεδομένων ακολουθεί την κεφαλίδα και το πλαίσιο του δείκτη Channel Indicator μας προσδιορίζει πως να διαβάσουμε τα δεδομένα. Στην περίπτωση που κάποια από τις γραμμές DIO είναι ενεργοποιημένη, τα πρώτα δύο bytes είναι το δείγμα του DIO. Έπειτα ακολουθούν τα δεδομένα ADC.Τα δεδομένα του καναλιού ADC αντιπροσωπεύονται ως θετικοί αριθμοί τιμών 10-bit στοιχισμένοι δεξιά με ε΄να όριο της τάξης των 16-bit.



Σχήμα 6.6 : Δείγμα Δεδομένων

*6.2.2.2 Υποστήριξη API (*Application programming interface*)*

Τα δεδομένα I/O στέλνονται από την συσκευή UART χρησιμοποιώντας ένα πλαίσιο API.Όλα τα υπόλοιπα δεδομένα μπορούν να σταλούν και να ληφθούν χρησιμοποιώντας την διαφανή λειτουργία (Transpant Operation) είτε πλαίσια API μόνο εάν αυτή η λειτουργία είναι ενεργοποιημένη (πρέπει AP > 0) .

Οι λειτουργίες API υποστηρίζουν δύο αναγνωριστικά πλαισίου λήψης (RX) για τα δεδομένα I/O(ρυθμίζοντας την 16-bit διεύθυνση σε 0xFFFE η ενότητα θα κάνει διευθυνσιοδότηση της τάξης των 64-bit).

• 0x82 για πακέτα RX : 64-bit διεύθυνση I/O

• 0x83 για πακέτα RX : 16-bit διεύθυνση I/O

6.2.2.3 Υποστήριξη λειτουργίας Ύπνου (Sleep Mode)

Βασικό χαρακτηριστικό των δικτύων WSN είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Για να γίνει αυτό πρέπει για κάποια χρονικά διαστήματα να μην λειτουργούν οι ενότητες RF δηλαδή να βρίσκονται σε κατάσταση ύπνου. Αναλόγως την παραμετροποίηση ο ύπνος μπορεί να έχει συγκεκριμένη κυκλική διάρκεια είτε η ενότητα να ξυπνάει κατά την λήψη κάποιου πακέτου.

Η δειγματοληψία αυτόματου ξυπνήματος μπορεί να κατασταλεί ρυθμίζοντας την παράμετρο SO να έχει τιμή ίση με 1.Όταν μια ενότητα RF ξυπνάει, θα πραγματοποιεί πάντα ένα δειγματισμό με βάση οποιαδήποτε ενεργή ADC ή DIO γραμμή. Αυτό επιτρέπει τη δειγματοληψία με βάση τον κύκλου του ύπνου είτε πρόκειται για κυκλικό ύπνο (SM παράμετρος = 4 ή 5) ή για ύπνο των pin (SM = 1 ή 2). Για να μπορεί να συγκεντρώσει περισσότερα δείγματα όταν είναι δεν είναι σε κατάσταση ύπνου, πρέπει να ρυθμιστεί η παράμετρος IR (Sample Rate-Ρυθμός Διεγματοληψίας).

Για καταστάσεις Κυκλικού Ύπνου: Εάν η παράμετρος IR έχει οριστεί, η ενότητα που θα μείνει ξύπνια μέχρι την πλήρωση της παραμέτρου IT (Δείγματα πρίν την αποστολή). Η ενότητα θα παραμείνει ξύπνια για χρονικό διάστημα ίσο με την τιμή της παραμέτρου ST (Χρόνος πριν τον ύπνο).

6.2.2.4 Υποστήριξη DIO Pin Change Detect (εντοπισμός αλλαγής κατάστασης DIO Pin)

Όταν είναι ενεργοποιημένη η κατάσταση "DIO Change Detect" (χρησιμοποιώντας την εντολή IC),οι ψηφιακές γραμμές εισόδου/εξόδου 0-7 παρακολουθούνται. Όταν μία αλλαγή ανιχνεύεται σε μια γραμμή DIO, θα συμβούν τα ακόλουθα:

- Ένα πακέτο RF αποστέλλεται με τα ανανεωμένα επίπεδα τιμών των DIO pins. Αυτό το πακέτο δεν θα περιέχει δείγματα ADC.

- Όλα τα δείγματα που βρίσκονται στην ουρά μεταδίδονται πριν από τον εντοπισμό των αλλαγμένων δεδομένων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην λήψη ενός πακέτου με λιγότερα δείγματα από την τιμή του IT (δείγματα πριν την αποστολή).

Σημείωση: Ο εντοπισμός μιας αλλαγής δεν επηρεάζει την αφύπνιση των pins. Το pin D8 (DTR/Sleep_RQ/DI8) είναι η μόνη γραμμή που θα ξυπνήσει την ενότητα από τον ύπνο των pin. Σε περίπτωση που δεν έχουν συλλεχθεί όλα τα δείγματα, η ενότητα θα εξακολουθεί να περιέρχεται σε κατάσταση ύπνου μετά από την αποστολή ενός πακέτου ανίχνευσης αλλαγής.

6.2.2.5 Sample Rate (Interval) – Μεσοδιάστημα Ρυθμού Δειγματοληψίας

Η ρύθμιση του ρυθμού δειγματοληψίας δίνει την δυνατότητα στα ενεργοποιημένα ADC και DIO pins να διαβάζονται περιοδικά σε ενότητες που δεν έχουν ρυθμιστεί να λειτουργούν σε κατάσταση ύπνου. Όταν μία από τις καταστάσεις ύπνου είναι ενεργοποιημένη και η παράμετρος IR (ρυθμός δειγματοληψίας) έχει ρυθμιστεί, η ενότητα θα παραμείνει ξύπνια έως ότου ο αριθμός των δειγμάτων που έχουν συλλεχθεί να είναι ίσος με την τιμή της παραμέτρου IT (Δείγματα πριν από την αποστολή).

Μόλις ένα συγκεκριμένο pin ενεργοποιηθεί, το κατάλληλο ποσοστό του δείγματος πρέπει να επιλέγεται. Ο μέγιστος ρυθμός δειγματοληψίας που μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας μια A/D γραμμή είναι 1 δείγμα / ms ή 1 Khz (Ας σημειωθεί ότι το modem δεν θα είναι σε θέση να συμβαδίσει με τη μετάδοση όταν οι παράμετροι IR και IT είναι ίσες με "1" και επίσης δεν συνιστάται η ρύθμιση του modem για δειγματοληψία σε τιμές μεγαλύτερες από μία φορά κάθε 20ms).

6.2.2.6 Line Passing

Η βασική ιδέα πίσω από τις ψηφιακές γραμμές εισόδου / εξόδου είναι να περάσει ένα ψηφιακό σήμα στα DIO pins, εκτός από τα σειριακά δεδομένα UART που στέλνει η ενότητα XBee. Το XBee είναι ικανό να αποστέλλει άμεσα σήματα DIO από τη μία ενότητα στην άλλη χωρίς την υποστήριξη κάποιου επιπρόσθετου υλικού . Η ενότητα XBee έχει 8 διαθέσιμες γραμμές DIO που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποστολή / λήψη ψηφιακών δεδομένων. Η ένατη γραμμή χρησιμοποιείται για το **DTR passing**.

Ενεργοποίηση των ψηφιακών γραμμών εισόδου/εξόδου (Απομακρυσμένη Συσκευή):

Η επιλογή της ενεργοποίησης των ψηφιακών γραμμών εισόδου/εξόδου στην απομακρυσμένη συσκευή (αποστολέας) μπορεί να πραγματοποιηθεί δίνοντας την παρακάτω εντολή :

ATDn*=3

Ενεργοποίηση των ψηφιακών γραμμών εισόδου/εξόδου (Συσκευή Βάσης):

Η επιλογή της ενεργοποίησης των ψηφιακών γραμμών εισόδου/εξόδου στη βάση (παραλήπτης) μπορεί να πραγματοποιηθεί δίνοντας τις παρακάτω εντολές :

ATDn*=4,(Η τιμή 4 δίνει DO low-0)

ATDn*=5,(Η τιμή 5 δίνει DO high-1)

***όπου n= 0-7(ο αριθμός του αντίστοιχου DIO pin που επιθυμούμε να χρησιμοποιήσουμε)**

Υπενθυμίζουμε πως οι είσοδοι και οι έξοδοι πρέπει να χαρτογραφούνται σε ζευγάρια, έτσι εάν ενεργοποιήσουμε την ψηφιακή είσοδο DI2 απομακρυσμένα πρέπει να ενεργοποιήσουμε την ψηφιακή έξοδο DO2 στη βάση. Κάθε ψηφιακή γραμμή εισόδου/εξόδου είναι συνδεδεμένη σε συγκεκριμένο pin στην ενότητα ενώ κάποια pins μπορεί να επιτελούν άλλες λειτουργίες.

Εικονικά καλώδια μπορούν να στηθούν μεταξύ των μονάδων xBee®/XBee-PRO®. Όταν ληφθεί ένα πακέτο δεδομένων RF που περιέχει I/O δεδομένα, η μονάδα λήψης μπορεί να είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε να ενημερώσει οποιεσδήποτε ενεργές εξόδους (PWM και DIO) βασισμένη στα δεδομένα που λαμβάνει.

Αξιοσημείωτο είναι ότι οι I/O γραμμές χαρτογραφούνται ανά ζευγάρια. Π.χ. η AD0 μπορεί μόνο να ενημερώσει την PWM0 και η DI5 μπορεί μόνο να ενημερώσει την DO5.

Η προεπιλεγμένη ρύθμιση για τις εξόδους είναι να μην ενημερώνονται, και τα αποτελέσματα τους σε I/O δεδομένα στέλνονται από τη συσκευή UART.Η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση της εξόδου UART γίνεται μέσω της εντολής **IU,**η οποία όταν έχει την τιμή **1 (**δηλαδή έξοδος UART ενεργοποιημένη) όλα τα πακέτα I/O δεδομένων που λαμβάνονται προωθούνται και στέλνονται μέσω της εξόδου της UART σε πλαίσια API ανεξαρτήτως την τιμή της παραμέτρου **AP.**

Για να επιτρέψουμε στις εξόδους να ενημερωθούν, η παράμετρος **IA** πρέπει να είναι ρυθμισμένη με τη διεύθυνση της μονάδας που έχει τις κατάλληλες εισόδους ενεργοποιημένες. Αυτό δεσμεύει αποτελεσματικά τις εξόδους σε συγκεκριμένη μονάδα εισόδου χωρίς όμως να επηρεάζει τη δυνατότητα της ενότητας να λαμβάνει I/O δεδομένα από άλλες ενότητες παρά μόνο τη δυνατότητά του να ενημερώσει τις ενεργοποιημένες εξόδους. Επίσης με την ρύθμιση της παραμέτρου **IA** στην τιμη **0xFFFF** επιτυγχάνουμε τη λήψη I/O δεδομένων για αλλαγές των εξόδων από οποιαδήποτε ενότητα.

Όταν οι έξοδοι αλλάζουν από τη μη ενεργό κατάστασή τους, η ενότητα μπορεί να είναι ρυθμισμένη για να επιστρέψει το επίπεδο εξόδου σε μη ενεργό κατάσταση. Η χρήση χρονομέτρων μπορεί να γίνει εφικτή χρησιμοποιώντας τις εντολές **TN** (χρονόμετρο εξόδου Dn) και **PT** (διάλειμμα εξόδου PWM). Η παράμετρος **TN** προσδιορίζει τον επιτρεπτό χρόνο παραμονής σε μη προκαθορισμένη (ενεργή) κατάσταση. Εάν **Tn = 0** η παύση λειτουργίας της εξόδου απενεργοποιείται επ'αόριστον.Η εντολή **PT** χρησιμοποιείται για να θέσει/διαβάσει την τιμή παύσης λειτουργίας και για τις δύο PWM εξόδους. Όταν έχει τεθεί στην PWM μη μηδενική τιμή και λόγω του line passing ένα χρονόμετρο ξεκινά να μετρά αντίστροφα, το οποίο όταν τερματίσει η τιμή εξόδου PWM τίθεται στο μηδέν. Τα χρονόμετρα επανακινούνται κάθε φορά που παραλαμβάνεται ένα έγκυρο I/O πακέτο (περασμένος έλεγχος IA).

Οι παράμετροι **IC** (ανίχνευσης αλλαγής γραμμής) και **IR** (ποσοστό δειγμάτων) μπορούν να είναι ρυθμισμένες για να κρατήσουν την έξοδο σαν ενεργή έξοδό τους εάν το σύστημα χρειάζεται περισσότερο χρόνο από αυτόν που μπορούν να χειριστούν τα χρονόμετρα.

Το Xbee επιτρέπει στο χρήστη να ρυθμίσει των αριθμό των δειγμάτων που θα πρέπει να ληφθούν πριν την αποστολή των δεδομένων. Η παράμετρος που τα ρυθμίζει είναι η **ATIT.** Το Xbee μπορεί να φορτώσει στην προσωρινή του μνήμη έως 90 bytes δείγματα δεδομένων δηλαδή μέχρι 22 δείγματα αφού η ψηφιακή πληροφορία χρειάζεται 2 bytes για να αποθηκευτεί.

Ρυθμός Δειγματοληψίας και Χρονογράφοι DIO

Αφού έχει γίνει η ενεργοποίηση των απαραίτητων ψηφιακών γραμμών το επόμενο βήμα είναι η ρύθμιση του ρυθμού δειγματοληψίας (sampling rate) και των χρονομέτρων παύσης λειτουργίας (timeout timers) των γραμμών. Ο ρυθμός δειματοληψίας είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί στην απομακρυσμένη συσκευή και τα χρονόμετρα στη βάση. Στην απομακρυσμένη συσκευή ο ρυθμός δειγμτοληψίας μπορεί να ρυθμιστεί με την παράμετρο IR (σε ms).Ο χρονογράφος ρυθμίζεται στη βάση μέσω της παραμέτρου Tn όπου n= 0-7 (σε ms).Εάν έπειτα από τη ρύθμιση του χρονομέτρου Tn δεν υπάρχει λήψη νέων δεδομένων στην ενότητα τότε η αντίστοιχη ψηφιακή γραμμή εξόδου DO n θα επιστρέψει στην προκαθορισμένη της κατάσταση. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να προσέχουμε πάντα να ρυθμίζουμε το ρυθμό δειγματοληψίας να είναι χαμηλότερος ή πολύ χαμηλότερος από το χρονογράφο παύσης λειτουργίας.

Δείγματα πριν την μετάδοση

Οι ενότητες Xbee/Xbee Pro δίνουν στο χρήστη την επιλογή της ρύθμισης του αριθμού των δειγμάτων που πρέπει να λάβει πρίν την μετάδοση δεδομένων. Αυτή η ρύθμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της παραμέτρου IT.Οι ενότητες Xbee/Xbee Pro μπορούν να αποθηκεύσουν προσωρινά στη μνήμη τους δεδομένα δειγματοληψίας της τάξης των 90 bytes και από τη στιγμή που το σύνολο της πληροφορίας των γραμμών DIO χρειάζεται χώρο μόλις 2 bytes η ενότητα μπορεί να αποθηκεύσει προσωρινά μέχρι 22 δείγματα ή αλλιώς T=0x44.

Παρακάτω ακολουθεί παράδειγμα με τις βασικές ρυθμίσεις που θα έπρεπε να κάνουμε σε 2 ενότητες RF για την ενεργοποίηση DIO σύνδεσης :

Απομακρυσμένη Συσκευή	**Συσκευή Βάσης**
DL = 0x1234	DL = 0x5678
MY = 0x5678	MY = 0x1234
D3 = 0x3	D3 = 0x4
D4 = 0x3	D4 = 0x4
IC = 0x18	T3 = 0x64
IT = 0x2	T4 = 0x64
IR = 0x32	IA = 0x5678 (or FFFF)

Ερμηνεία εντολών που χρησιμοποιήθηκαν στο παραπάνω παράδειγμα :

Απομακρυσμένη Συσκευή:

DL->Διεύθυνση αποστολέα

MY->Διεύθυνση πηγής

D3,4=0x3 ->Ενεργοποίηση ψηφιακής γραμμής για αποστολή

IC= 0x18 (binary 00011000) -> Έλεγχος αλλαγής τιμών για τις DIO3 και DIO4

IT= 0x2 ->Προσωρινή αποθήκευση 2 δειγμάτων πριν την αποστολή

IR= 0x32 ->Ρυθμός αποστολής δειγμάτων [0x32] x [1ms] = 50ms

Συσκευή Βάσης:

DL->Διεύθυνση αποστολέα

MY->Διεύθυνση πηγής

D3,4=0x4 ->Ενεργοποίηση ψηφιακής γραμμής για λήψη – low-0

T3,4= 0x64 (decimal 100) ->Καθορίζει το επιτρεπόμενο χρονικό διάστημα παραμονής σε μια μη προεπιλεγμένη (ενεργό) κατάσταση δλδ [0x64] x [100ms] = 10000ms = 10s

IA= 0x5678 (or FFFF) ->Δέσμευση των εξόδων της ενότητας να αλλάζουν μόνο όταν δέχονται δεδομένα από τη συγκεκριμένη διεύθυνση

Οι παραπάνω ρυθμίσεις στα modem θα έχουν σαν αποτέλεσμα η απομακρυσμένη συσκευή να προχωράει σε αποστολή δειγμάτων των ψηφιακών γραμμών DI3 και DI4 μια φορά κάθε 50 ms .Έπειτα θα προχωράει σε προσωρινή αποθήκευση 2 δειγμάτων πριν αποσταλούν αυτά στη βάση. Έτσι η βάση θα προχωράει στη λήψη 16 byte (4 bytes δεδομένων και 12 bytes πλαισίων) κάθε 100ms.

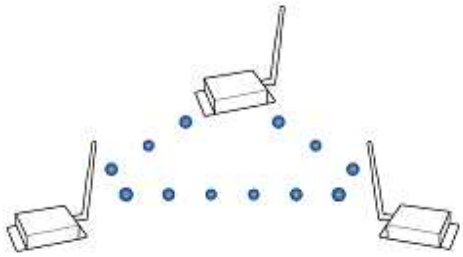
6.2.3 Δικτύωση

Βασικό πλεονέκτημα των ενοτήτων Xbee/Xbee Pro είναι η χρησιμοποίηση τους τόσο σε συστήματα NonBeacon όσο και σε συστήματα NonBeacon(w/ Coordinator).

Peer-to-Peer

Τα Xbee/Xbee Pro RF modules έχουν κατασκευαστεί ώστε να λειτουργούν μέσα σε τοπολογία διομότμου δικτύου Peer-to-Peer και κατά συνέπεια δεν εξαρτώνται μεταξύ τους από σχέσεις Master/Slave .Το ίδιο ισχύει και για τα συστήματα NonBeacon τα οποία λειτουργούν κάτω από την τοπολογία Peer-to-

Peer και κατά συνέπεια δεν διέπονται και αυτά από σχέσεις Master/Slave.Αυτό σημαίνει πως οι ενότητες σε αυτά τα συστήματα έχουν τη δυνατότητα να συγχρονίζονται και να λειτουργούν ομότιμα στο δίκτυο διαμοιραζόμενες τους ρόλους master και slave.



Εικόνα 6.7 : Αρχιτεκτονική Peer-to-Peer

6.2.4 Διευθυνσιοδότηση

Κάθε πακέτο δεδομένων RF που αποστέλλεται ασύρματα περιέχει τη διεύθυνση πηγής (MY) και τη διεύθυνση προορισμού (DH-DL) τομέα στην επικεφαλίδα της. Η ενότητα RF είναι σύμφωνη με τις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου 802.15.4 και υποστηρίζει τόσο τις 16-bit διευθύνσεις όσο και τις 64-bit διευθύνσεις. Ακόμα μια μοναδική 64-bit διεύθυνση πηγής IEEE αποδίδεται εργοστασιακά και μπορεί να διαβαστεί με τις εντολές SL (Serial Number Low) και SH (Serial Number High).Η σύντομη (16-bit) διευθυνσιοδότηση πρέπει να ρυθμίζεται χειροκίνητα ενώ μια ενότητα θα χρησιμοποιήσει την μοναδική της 64-bit διεύθυνση σαν διεύθυνση πηγής εάν ρυθμίσουμε την τιμή της παραμέτρου MY (16-bit Διεύθυνση Πηγής) να είναι ίση με "0xFFFF" ή "0xFFFE".

Για να αποσταλεί ένα πακέτο σε μια συγκεκριμένη ενότητα με χρήση 64-bit διευθυνσιοδότησης: Ορίζουμε την Διεύθυνση Προορισμού (DL + DH) του αποστολέα να ταιριάζει με την Διεύθυνση Πηγής (SL + SH) της προβλεπόμενης μονάδας προορισμού.

Για να αποσταλεί ένα πακέτο σε μια συγκεκριμένη ενότητα με χρήση 16-bit διευθυνσιοδότησης: Ορίζουμε την παράμετρο DL (Διεύθυνση Προορισμού Χαμηλή-0) ώστε να είναι ίδια με την τιμή της παραμέτρου MY της προβλεπόμενης μονάδας προορισμού και ρυθμίζουμε την παράμετρο DH (Διεύθυνση Προορισμού Υψηλή-1) να έχει την τιμή '0 '.

Οι ενότητες RF Xbee και Xbee Pro υποστηρίζουν τόσο **Unicast** όσο και **Broadcast** τεχνικές μετάδοσης.

6.2.4.1 Unicast Mode

Από προεπιλογή, οι ενότητες RF λειτουργούν σε Unicast Mode η οποία είναι η μόνη τεχνική μετάδοσης που υποστηρίζει τα retries. Ενόσω βρίσκονται σε αυτή την κατάσταση, οι ενότητες που λαμβάνουν δεδομένα, αποστέλλουν στον πομπό πλαίσια επαλήθευσης (ACK) παραλαβής για τα πακέτα RF που έλαβαν. Σε περίπτωση που η διαβιβάζουσα μονάδα δεν παραλάβει το ACK, θα στείλει ξανά το πακέτο έως και τρεις φορές ή μέχρι να λάβει το πλαίσιο επαλήθευσης ACK.

Σύντομες 16-bit διευθύνσεις. Η μονάδα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να χρησιμοποιεί 16-bit διευθύνσεις, όπως η Διεύθυνση Πηγή θέτοντας (MY <0xFFFE).Όταν θέσουμε την τιμή της παραμέτρου DH να είναι (DH = 0) θα ρυθμιστεί η παράμετρος της Διεύθυνσης Προορισμού να είναι μια σύντομη 16-bit διεύθυνση (εάν DL <0xFFFE). Για την επιτυχή επικοινωνία δύο ενοτήτων με χρήση σύντομης διευθυνσιοδότησης, η διεύθυνση προορισμού της ενότητας πομπού πρέπει να ταιριάζει με την παράμετρο MY του δέκτη.

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει μια διαμόρφωση δικτύου που θα επέτρεπε Unicast επικοινωνίες χρησιμοποιώντας σύντομες 16-bit διευθύνσεις.

Παράμετρος	Ενότητα RF-1	Ενότητα RF-2
MY(Διεύθυνση Πηγής)	**0x01**	**0x02**
DH(Διεύθυνση Προορσμού-Υψηλό)	**0**	**0**
DL(Διεύθυνση Προορσμού-Χαμηλό)	**0x02**	**0x01**

Πίνακας 6.5 : Διαμόρφωση Unicast δικτύου (με χρήση διευθυνσιοδότησης 16-bit)

Διευθύνσεις μεγάλου μήκους 64-bit.Ο σειριακός αριθμός της ενότητας RF (που συνδέει την SL παράμετρο με την SH παράμετρο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως διεύθυνση προέλευσης 64-bit, όταν η παράμετρος MY (16-bit διεύθυνση προέλευσης) είναι απενεργοποιημένη. Όταν η παράμετρος MY είναι απενεργοποιημένη (MY = 0xFFFF ή 0xFFFE),η διεύθυνση πηγής του module είναι η διεύθυνση IEEE 64-bit που αποθηκεύεται στις παραμέτρους SH και SL.

6.2.4.2 Broadcast Mode

Στην τεχνική μετάδοσης broadcast κάθε ενότητα RF εντός της εμβέλειας του δικτύου θα δεχτεί ένα πακέτο που περιέχει μια διεύθυνση μετάδοσης. Όταν ρυθμιστεί ώστε να λειτουργεί σε Broadcast Mode,οι μονάδες που λαμβάνουν δεδομένα δεν στέλνουν ACKs (γνωστοποιήσεις για τα ληφθέντα πακέτα) και οι πομποί δεν προχωρούν αυτόματα στην εκ νέου αποστολή πακέτων όπως συμβαίνει στο Unicast Mode.

Για να αποσταλεί ένα πακέτο broadcast μετάδοσης σε όλες τις ενότητες, ανεξάρτητα από την 16-bit ή 64-bit διευθυνσιοδότηση, πρέπει να ρυθμίσουμε τις διευθύνσεις προορισμού των ενοτήτων όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα. :

Παράδειγμα Ρύθμισης Δικτύου(για όλες τις ενότητες του δικτύου):

• DL (Destination Low Address) = 0x0000FFFF

• DH (Destination High Address) = 0x00000000 (προεπιλεγμένη τιμή)

6.2.5 Καταστάσεις Λειτουργίας

Τα Xbee/Xbee Pro RF modules που χρησιμοποιούμε μας δίνουν τη δυνατότητα επιλογής μέσα από πέντε διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας:

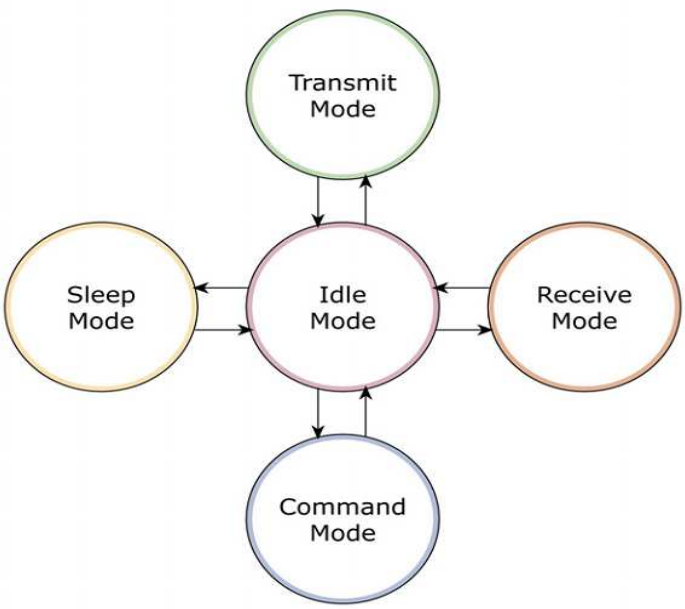
- **Idle Mode.** Αδρανής κατάσταση κατά την οποία η συσκευή δεν στέλνει αλλά ούτε λαμβάνει δεδομένα. Ωστόσο από αυτή την κατάσταση μπορεί να μεταβεί άμεσα στις υπόλοιπες καταστάσεις λειτουργίας.

- **Transmit Mode.** Η συσκευή μεταβαίνει σε κατάσταση Εκπομπής όταν λαμβάνονται δεδομένα στη σειριακή είσοδο της συσκευής.

- **Receive Mode.** Η συσκευή μεταβαίνει σε κατάσταση Λήψης όταν λαμβάνονται έγκυρα RF δεδομένα στην κεραία της συσκευής.

- **Sleep Mode.** Μετάβαση σε αυτήν την κατάσταση λειτουργίας έχουμε όταν το μόντεμ βρίσκεται σε Idle Mode μετά από προκαθορισμένο χρόνο ή όταν η DTR (Data Terminal Ready) δεν είναι ενεργή. Η λειτουργία Sleep Mode θέτει τη συσκευή σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ισχύος για όση ώρα παραμένει σε αυτή.

- **Command Mode**. Είναι η κατάσταση κατά την οποία θέτουμε τη συσκευή όταν επιθυμούμε να ελέγξουμε τις ισχύουσες ρυθμίσεις της συσκευής ή όταν επιθυμούμε να αλλάξουμε αυτές τις ρυθμίσεις.



Εικόνα 6.8 : Καταστάσεις λειτουργίας των RF Modules

Κεφάλαιο 7. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

7.1 Εισαγωγή

Βασικός στόχος των μετρήσεων αποτέλεσε η διερεύνηση της ποιότητας επικοινωνίας μεταξύ των RF Modules σε διαφορετικές συνθήκες και περιοχές. Προς αυτή τη κατεύθυνση αποφασίσαμε να προβούμε σε μετρήσεις σε τρείς διαφορετικές περιοχές εκ των οποίων η κάθε μία έχει τα ξεχωριστά δικά της χαρακτηριστικά.

Όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο τα δύο RF Modules που χρησιμοποιήσαμε ήταν τα **Xbee Pro** της εταιρείας **Digi.** Επίσης χρησιμοποιήσαμε δύο πλακέτες η μία με USB θύρα επικοινωνίας ενώη δεύτερη με σειριακή θύρα RS-232.

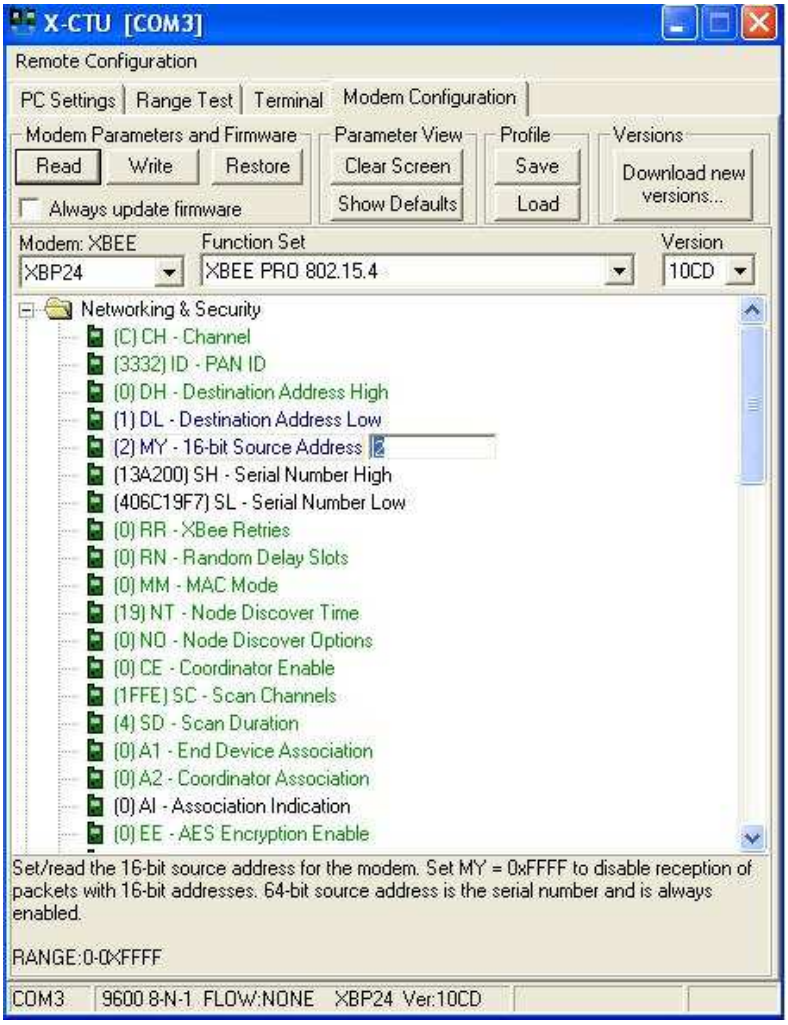


Εικόνα 7.1 : Τα Xbee PRO RF Modules μαζί με τις πλακέτες RS-232 και USB

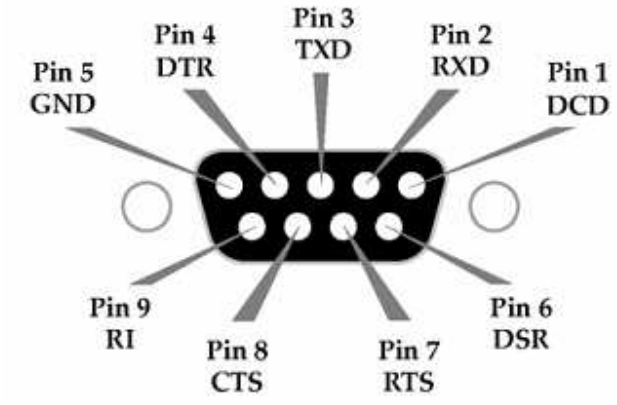
Η ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας και επικοινωνίας των συσκευών καθώς και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω της εφαρμογής **X-CTU.**

Ρύθμιση/Συσκευή	S	RS
CH (Κανάλι επικοινωνίας)	C	C
ID (PAN ID)	3332	3332
DL (Διεύθυνση αποστολέα)	2	1
MY (Διεύθυνση πηγής)	1	2

Πίνακας 7.1 : Οι βασικές ρυθμίσεις που πραγματοποιήσαμε ώστε να πετύχουμε τη βασική επικοινωνία μεταξύ των δύο συσκευών



Εικόνα 7.2 : Στιγμιότυπο εφαρμογής X-CTU



Σχήμα 7.3 : Τα Pins της διεπαφής RS-232

Η διαδικασία που ακολουθείται σε κάθε κύκλο μετρήσεων είναι η εξής:

- Οι συσκευές τοποθετούνται πάνω σε διεπαφές RS-232 και USB (Εικόνα 7.2)
- Σύνδεση των συσκευών στον Η/Υ και ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας και επικοινωνίας (Πίνακας 7.1) μέσω της εφαρμογής X-CTU
- Σύνδεση των κεραιών στις συσκευές
- Η συσκευή που είναι τοποθετημένη στην διεπαφή USB θα είναι φορητή και συνδεδεμένη σε φορητό Η/Υ.Η συσκευή αυτή θα πραγματοποιεί αποστολή πακέτων και την συμβολίζουμε ως «S»
- Η συσκευή που είναι τοποθετημένη στην διεπαφή RS-232 , είναι σταθερή και τοποθετημένη στο ψηλότερο δυνατό σημείο και τροφοδοτείται με ηλεκτρικό ρεύμα από την πρίζα του σπιτιού. Έπειτα βραχυκυκλώνουμε τα Pin εισόδου (pin2) και εξόδου (pin3) της διεπαφής (Σχήμα 7.3) ώστε να πετύχουμε το «Loopback» δηλαδή την αναμετάδοση των πακέτων που θα ληφθούν από τη συσκευή. Έτσι η συσκευή θα αναμεταδίδει τα πακέτα που θα λαμβάνει από την «S» και γι'αυτό το λόγο τη συμβολίζουμε ως «RS»
- Δένουμε τη συσκευή «S» σε ένα ξύλινο κοντάρι ώστε να μπορούμε να κάνουμε τις μετρήσεις πιο αποτελεσματικά αποφεύγοντας συγχρόνως την άμεση επαφή μας με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια εκπομπής/λήψης της κεραίας (Εικόνα 7.)
- Έπειτα σε κάθε σημείο (μέσω της επιλογής «Range Test» στην εφαρμογή X-CTU) πραγματοποιούμε αποστολή 100 πακέτων και παρακολουθούμε πόσα από αυτά θα λάβουμε πίσω ενώ καταγράφουμε την απόσταση από το στόχο

Στις παρακάτω ενότητες παραθέτουμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων καθώς και φωτογραφίες από κάθε περιοχή μετρήσεων.

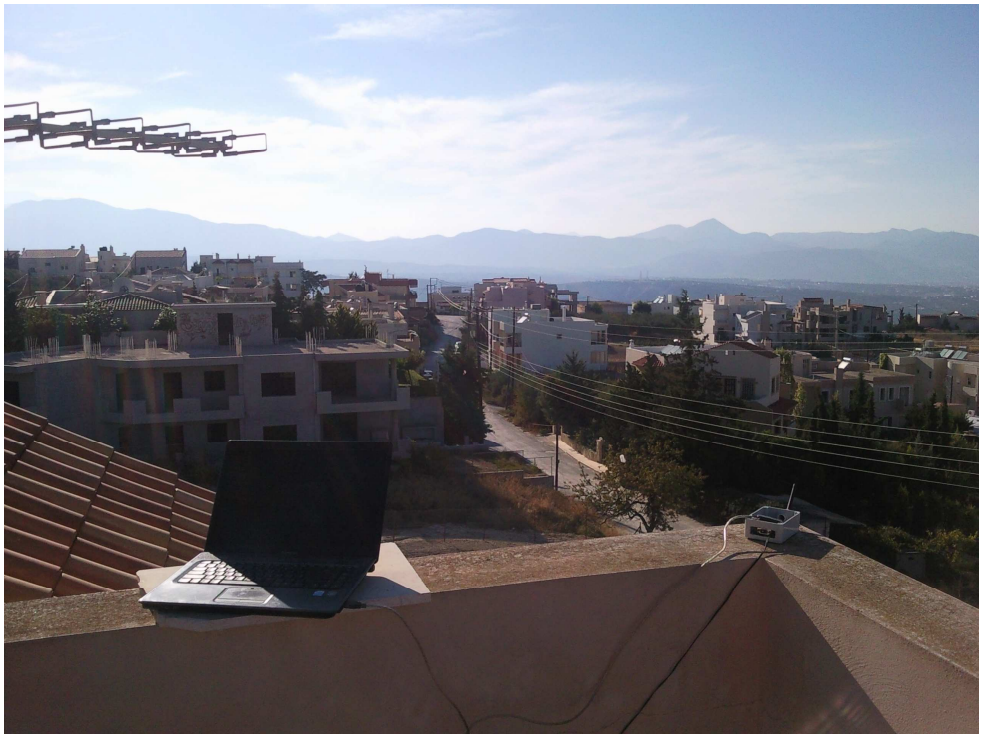
7.2 Μετρήσεις στις Βασιλειές

7.2.1 Περιγραφή

Για τη πραγματοποίηση των πρώτων μετρήσεων αποφασίσαμε να πάμε σε ένα χωριό μερικά χιλιόμετρα έξω από το Ηράκλειο, στις Βασιλειές. Σκοπός μας ήταν να ελέγξουμε την ποιότητα επικοινωνίας μεταξύ δύο ασύρματων κόμβων σε ανοιχτό περιβάλλον με περιορισμένα εμπόδια μεταξύ τους. Τοποθετήσαμε έναν φορητό υπολογιστή στην ταράτσα του σπιτιού που μας φιλοξένησε και σε αυτόν συνδέσαμε την συσκευή «RS». Η δεύτερη συσκευή «S» συνδέθηκε σε άλλο φορητό υπολογιστή. Έπειτα πήραμε την «S» μαζί με το φορητό υπολογιστή στο αυτοκίνητο και προχωρήσαμε σε δειγματοληπτικές μετρήσεις εμβέλειας (range tests) στην περιοχή.



Εικόνα 7.4 : Βασιλειές,απεικόνιση (μέσω Google Maps) της περιοχής και των σημείων που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις



Εικόνα 7.5 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων-Σημείο τοποθέτησης σταθερού εξοπλισμού



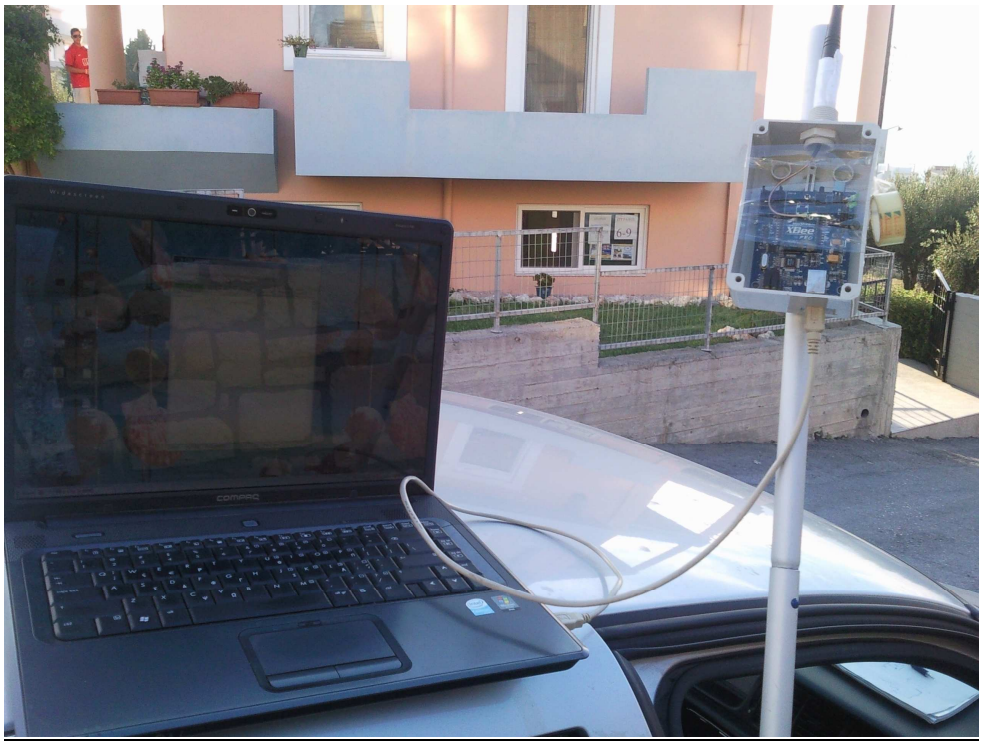
Εικόνα 7.6 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων



Εικόνα 7.7 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων



Εικόνα 7.8 : Βασιλειές-Περιοχή Μετρήσεων



Εικόνα 7.9 : Βασιλειές-Φορητός Εξοπλισμός Μετρήσεων

7.2.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Σημείο	Απόσταση σε m.	Ποσοστό επιτυχούς αποστολής πακέτων	Σημείωση
1	300	35%	ΧΟΕ*
2	150	95%	ΟΕ**
3	200	25%	ΧΟΕ
4	350	41%	ΠΟΕ***
5	250	100%	ΟΕ
6	200	53%	ΠΟΕ
7	50	22%	ΧΟΕ
8	40	100%	ΟΕ

Πίνακας 7.2 : Αποτελέσματα μετρήσεων στις Βασιλειές

7.3 Μετρήσεις στην Κηπούπολη

7.3.1 Περιγραφή

Σε δεύτερη φάση αποφασίσαμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις σε μια αστική περιοχή (Κηπούπολη) έτσι ώστε να μελετήσουμε την επικοινωνία μεταξύ των συσκευών σε πιο πυκνοκατοικημένα μέρη με περισσότερα εμπόδια. Ακολουθήσαμε και πάλι την ίδια διαδικασία και προχωρήσαμε σε δειγματοληπτικές μετρήσεις εμβέλειας (range tests) στην περιοχή.



Εικόνα 7.10 : Κηπούπολη, Απεικόνιση (μέσω Google Maps) της περιοχής και των σημείων που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις



Εικόνα 7.11 : Κηπούπολη- Σημείο τοποθέτησης σταθερού εξοπλισμού



Εικόνα 7.12 : Κηπούπολη-Περιοχή Μετρήσεων



Εικόνα 7.13 : Κηπούπολη-Περιοχή Μετρήσεων

7.3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων

Σημείο	Απόσταση σε m.	Ποσοστό επιτυχούς αποστολής πακέτων	Σημείωση
1	5	0%	ΧΟΕ* (Μέσα στο σπίτι)
2	15	94%	ΟΕ** – είσοδος σπιτιού
3	60	100%	ΟΕ
4	120	100%	ΟΕ
5	180	0%	ΧΟΕ
6	350	0%	ΧΟΕ
7	120	100%	ΟΕ
8	75	22%	ΠΟΕ***
9	150	0%	ΧΟΕ
10	50	99%	ΟΕ

Πίνακας 7.3 : Αποτελέσματα μετρήσεων στην Κηπούπολη

Σημείωση:

ΧΟΕ*=Χωρίς Οπτική Επαφή με σταθερό εξοπλισμό

ΟΕ**=Οπτική Επαφή με σταθερό εξοπλισμό

ΠΟΕ***=Περιορισμένη Οπτική Επαφή με σταθερό εξοπλισμό

Κεφάλαιο 8. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ

8.1 Εισαγωγή

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs), έχουν προσελκύσει τεράστια προσοχή από την ερευνητική κοινότητα τα τελευταία χρόνια. Ένα τεράστιο μέρος των ερευνών έχει διεξαχθεί για την επίλυση των πρακτικών και θεωρητικών ζητημάτων που παραμένουν ανοικτά,και είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση πολιτικών αλλά και στρατιωτικών εφαρμογών κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.Βασικά χαρακτηριστικά των WSN το χαμηλό κόστος,η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας,η μεγάλη διάρκεια ζωής,η δυνατότητα αυτοσυντήρησης(self-healing),η ασύρματη δικτύωση,η κρυπτογράφηση των δεδομένων,ο αυτόματος συντονισμός των κόμβων στο δίκτυο επικοινωνίας,η μεγάλη εμβέλεια που παρέχουν αλλά και ο χαμηλός χρόνος απόκρισης.Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε εκτενή αναφορά σε εφαρμογές χρησιμοποίησης των WSN όπως είναι : τα συστήματα παρακολούθησης, ελέγχου και τηλεχειρισμού,οι αυτοματισμοί κτιρίων και βιομηχανικών διεργασιών,οι έξυπνες οικιακές συσκευές,τα συστήματα ενεργειακής εξοικονόμησης και πολλές άλλες.

Μέχρι σήμερα όμως,τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων που έχουν αναπτυχθεί μετρούν μονοδιάστατα φυσικά μεγέθη όπως η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, ή την τοποθεσία των αντικειμένων.Σε γενικές γραμμές, τα περισσότερα δίκτυα αισθητήρων σχεδιάζονται για εφαρμογές χαμηλού εύρους ζώνης και ανεκτικές σε καθυστερήσεις. Για το λόγο αυτό, οι περισσότερες έρευνες σχετικά με τα δίκτυα αισθητήρων έχουν επικεντρωθεί σε αυτό το χαμηλής ισχύως και ανεκτικό σε καθυστερήσεις παράδειγμα δικτύου, στο οποίο αναφερόμαστε ως επίγειο δίκτυο αισθητήρων.Ενώ οι ερευνητικές προκλήσεις των παραδοσιακών δικτύων αισθητήρων δεν θα μπορούν σε καμία περίπτωση να αντιμετωπιστούν, αργά ή γρήγορα, στο

άμεσο μέλλον θα δούμε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για εναλλακτικά παραδείγματα όπου δίκτυα αισθητήρων θα αναπτύσσονται προς τις δύο παρακάτω κατευθύνσεις :

α) για την εκτέλεση εξειδικευμένων καθηκόντων. π.χ. τα δίκτυα αισθητήρων να ενεργούν για περιβάλλοντα, απαιτώντας κατά συνέπεια την χρήση προηγμένων πρωτοκόλλων επικοινωνίας, αλγορίθμων και αρχιτεκτονικών τενολογίας ad hoc.

β)γα χρήση σε δύσκολα περιβάλλοντα, π.χ. υποβρύχια και υπόγεια, απαιτώντας κατά συνέπεια πρωτόκολλα επικοινωνίας που έχουν την ικανότητα να αντιμετωπίσουν τα χαρακτηριστικά και τα προβλήματα του μέσου διάδοσης αλλά και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά τέτοιων περιοχών.

8.2 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων για εκτέλεση εξειδικευμένων καθηκόντων

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τις προσπάθεις για τα λεγόμενα πολυμεσικά ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WMSN's), δηλαδή δίκτυα ασύρματης διασύνδεσης συσκευών που επιτρέπουν την συνεχή ανάκτηση,ήχου,εικόνας αλλά και μονοδιάστατων δεδομένων αισθητήρων από το περιβάλλον.Εκτός από τη δυνατότητα ανάκτησης δεδομένων πολυμέσων,τα WMSNs θα είναι επίσης σε θέση να αποθηκεύουν, να επεξεργάζονται σε πραγματικό χρόνο,να συσχετίζουν και να συντήκουν δεδομένα πολυμέσων που προέρχονται από ετερογενείς πηγές. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων πολυμέσων δεν θα ενισχύσουν μόνο τις υπάρχουσες εφαρμογές αισθητήρων δικτύου όπως είναι η παρακολούθηση,ο οικιακός αυτοματισμός, και η παρακολούθηση του περιβάλλοντος, αλλά θα επιτρέψουν επίσης τη λειτουργία αρκετών νέων εφαρμογών όπως:

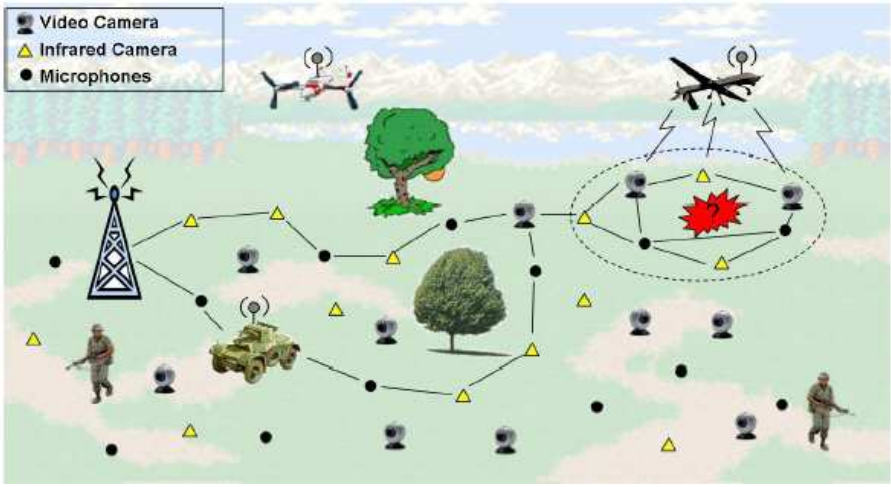
- **Δίκτυα Αισθητήρων Πολυμεσικής Παρακολούθησης (Multimedia Surveillance Sensor Networks)**.Αισθητήρες βίντεο και ήχου θα χρησιμοποιηθούν για να βελτιωθούν και να συμπληρωθούν τα υφιστάμενα συστήματα παρακολούθησης κατά του εγκλήματος και των τρομοκρατικών επιθέσεων.Δικτύα μεγάλης κλίμακας που αποτελούνται από αισθητήρες βιντεοσκόπησης μπορούν να επεκτείνουν την ικανότητα των αρχών επιβολής του νόμου να παρακολουθεί περιοχές, δημόσιες εκδηλώσεις, ιδιωτικές περιουσίες και τα σύνορα.

- **Συστήματα Αποφυγής Κυκλοφοριακής Συμφόρησης** (**Traffic Congestion Avoidance Systems**). Θα είναι δυνατή η παρακολούθηση της κυκλοφορίας των αυτοκινήτων σε μεγάλες πόλεις ή αυτοκινητοδρόμους και στην ανάπτυξη υπηρεσιών που προσφέρουν συμβουλές δρομολόγησης για την αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης ενώ μια άλλη πιθανή σχετική εφαρμογή θα είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα υποβοήθησης στάθμευσης.

- **Παροχή Προηγμένης Υγειονομικής Περίθαλψης** (**Advanced Health Care Delivery**). Τα τηλεϊατρικά δίκτυα αισθητήρων μπορούν να ενσωματωθούν με πολυμεσικά δίκτυα 3G για να παρέχουν παντού τις υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης. Οι ασθενείς θα φέρουν ιατρικούς αισθητήρες για την παρακολούθηση παραμέτρων όπως η θερμοκρασία του σώματος,η αρτηριακή πίεση,το παλμικό οξύμετρο,ηλεκτροκαρδιογράφημα και αναπνοή. Ομοίως, τα συστήματα παρακολούθησης των ηλικιωμένων και των οικογένειών θα βοηθήσουν στην παροχή έγκαιρης και ουσιαστικής υποστήριξης των λιγότερο ικανών τμημάτων της κοινωνίας.

- **Ελέγχος Βιομηχανικών Διεργασιών (Industrial Process Control)**. Πολυμεσικό περιεχόμενο, όπως η απεικόνιση, η θερμοκρασία, ή η πίεση μεταξύ άλλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ελέγχο βιομηχανικών διεργασιών που είναι ευαίσθητες από θέμα χρόνου . Η ανάπτυξη συστημάτων μηχανικής όρασης με WMSNs μπορεί να απλοποιήσει και να προσθέσει ευελιξία σε συστήματα οπτικής επιθεωρήσης και αυτοματοποιημένων ενεργειών που απαιτούν υψηλή ταχύτητα, υψηλή μεγέθυνση, και συνεχή λειτουργία.

- **Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος (Environmental Monitoring).**Αρκετές μελέτες για την παρακολούθηση των οικοτόπων μέσω της χρήσης οπτικοακουστικών δεδομένων έχουν προβλεφθεί, κατά την οποία όμως οι πληροφορίες πρέπει να μεταφέρονται σε σύντομο χρόνο. Για παράδειγμα, οι συστοιχίες των αισθητήρων εικόνας έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί από ωκεανογράφους για να καθορίσουν την εξέλιξη σχηματισμών άμμου μέσω τεχνικών επεξεργασίας εικόνας.



Εικόνα 8.1 : Παράδειγμα εφαρμογής WMSN με χρήση οπτικοακουστικών αισθητήρων σε πεδίο μάχης

Πολλές από τις παραπάνω εφαρμογές απαιτούν την επαναθεώρηση του πρότυπου δικτύου αισθητήρων εν όψει της ανάγκης για μηχανισμούς παροχής πολυμεσικού περιεχομένου με ένα συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας υπηρεσίας (QoS). Δεδομένου ότι η ανάγκη να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας έχει οδηγήσει το μεγαλύτερο μέρος της έρευνας σε δίκτυα αισθητήρων μέχρι σήμερα, οι μηχανισμοί για την αποτελεσματική παροχή QoS σε επίπεδο εφαρμογής, και την χαρτογραφήση των εν λόγω απαιτήσεων με στοιχεία μετρήσεων του στρώματος δικτύου όπως το latency (περίοδος λανθάνουσας κατάστασης) και το jitter (ανεπιθύμητη παραλλαγή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών ενός περιοδικού σήματος), δεν αποτέλεσαν πρωταρχικό λόγο στη γενική έρευνα για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει επίσης και τα λεγόμενα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και “ενεργητών” (WSANs- Wireless Sensor and Actor Networks), δηλαδή, ετερογενή δίκτυα ενσωματωμένων συσκευών, όπου ένα υποσύνολο συσκευών (αισθητήρες) συγκεντρώνουν περιβαλλοντικές πληροφορίες και ένα άλλο σύνολο πιο ισχυρών και λιγότερο περιορισμένων σε πόρους - συσκευών (ενεργητές) χειριζονται φυσικά το περιβάλλον και αλληλεπιδρούν με αυτό. Ένας ενεργητής (actor), εκτός του ότι είναι σε θέση να ενεργεί για το περιβάλλον με τη βοήθεια ενός ή περισσοτέρων ενεργοποιητών, είναι επίσης μια οντότητα του δικτύου που εκτελεί λειτουργίες δικτύωσης όπως π.χ. να λαμβάνει, να διαβιβάζει, να επεξεργάζεται και να αναμεταδίδει δεδομένα.



Εικόνα 8.2 : Παράδειγμα εφαρμογής WSAN με ρομποτικό ελικόπτερο που πραγματοποιεί χαρτογράφηση

8.3 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων σε δύσκολα περιβάλλοντα

Η δεύτερη κατηγορία των προσπαθειών έχει να κάνει με δικτυακές εφαρμογές αισθητήρων σε δύσκολες περιοχές. Πιο συγκεκριμένα, για τα υποβρύχια ακουστικα δίκτυα αισθητήρων (UW – ASNs,Under Water – Acoustic Sensor Networks) και τα υπόγεια ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WUSNs,Wireless Underground Sensor Networks), δηλαδή, τα δίκτυα αισθητήρων που είναι εγκατεστημένα κάτω από το έδαφος. Σε αυτές τις δύσκολες συνθήκες, τα χαρακτηριστικά διάδοσης του μέσου απαιτούν νέα πρωτόκολλα επικοινωνίας απόλυτα σχεδιασμένα για τέτοια περιβάλλοντα.

Τα υποβρύχια δίκτυα αισθητήρων έχουν τη δυνατότητα να διευκολύνουν εφαρμογές σε περιοχές που είναι ως τώρα ανεξερεύνητες από τον άνθρωπο καθώς και να ενισχυσουν την ικανότητα του να παρατηρεί και να προβλέψει τον ωκεανό.Επανδρωμένα ή αυτόνομα υποβρύχια οχήματα (UUVs ή AUVs) εξοπλισμένα με υποβρύχιους αισθητήρες είναι επίσης οραματισμένα να βρούν εφαρμογή στην εξερεύνηση των υποβρύχιων φυσικών πόρων και τη συλλογή επιστημονικών στοιχείων σε συλλογικές αποστολές παρακολούθησης. Οι πιθανές εφαρμογές θα είναι βιώσιμες, με την ενεργοποίηση ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ των υποβρύχιων συσκευών.Τα υποβρύχια ακουστικά δίκτυα αισθητήρων θα αποτελούνται από αισθητήρες και οχήματα που χρησιμοποιούνται μέσα στο νερό δικτυωμένα μέσω ασύρματων ακουστικών δεσμών για να πραγματοποιούν συνεργαζόμενα εργασίες παρακολούθησης.

Τα υποβρύχια ακουστικά δίκτυα αισθητήρων επιτρέπουν ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της δειγματοληψίας των ωκεανών, της παρακολούθησης του περιβάλλοντος, τις υποθαλάσσιες εξερευνήσεις, της πρόληψης καταστροφών, της σεισμικής παρακολούθησης,της παρακολούθησης του φερόμενου εξοπλισμού, της βοήθειας πλοήγησης, της κατανεμημένης τακτικής επιτήρησης καθώς και της αναγνώρισης ναρκών. Οι ακουστικές επικοινωνίες είναι η τυπική τεχνολογία φυσικού επιπέδου που χρησιμοποιείται στην υποβρύχια υποβρύχιες δικτύωση. Στην πραγματικότητα, τα ραδιοκύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας σαν αγωγό το αλμυρό νερό μόνο σε

πολύ χαμηλές συχνότητες (30 - 300 Hz), με αποτέλεσμα να απαιτούν μεγάλες κεραίες και υψηλή ισχύ εκπομπής.

Τα οπτικά κύματα δεν πάσχουν από τόσο μεγάλες αποσβέσεις, αλλά επηρεάζονται από τη σκέδαση. Επιπλέον, η μετάδοση οπτικών σημάτων απαιτεί υψηλή ακρίβεια στην υπόδειξη των περιορισμένου εύρους ακτίνων λέιζερ. Έτσι, οι συνδέσεις στα υποθαλάσσια δίκτυα συνήθως βασίζονται στις ακουστικές ασύρματες επικοινωνίες. Η παραδοσιακή προσέγγιση για παρακολούθηση του βυθού ή στήλης των ωκεανών είναι η ανάπτυξη υποβρύχιων αισθητήρων που θα καταγράφουν τα δεδομένα κατά τη διάρκεια της αποστολής παρακολούθησης και στη συνέχεια η ανακτήση τους από τα μέσα.

Η προσέγγιση αυτή έχει πολλά μειονεκτήματα:

- Τα καταγεγραμμένα δεδομένα δεν μπορούν να προσπελαστούν μέχρι την ανάκτηση των μέσων ,κάτι που μπορέι να συμβεί αρκετούς μήνες μετά την έναρξη της αποστολής παρακολούθησης.
- Η αλληλεπίδραση μεταξύ χερσαίων συστημάτων ελέγχου και των οργάνων ελέγχου δεν είναι εφικτή, γεγονός που εμποδίζει κάθε προσαρμοστική ή εκ νέου ρύθμιση του συστήματος.
- Στην περίπτωση που προκύψουν αποτυχίες ή λανθασμένες ρυθμίσεις, μπορεί να μην είναι δυνατή η ανίχνευση τους πριν από την ανάκτηση των μέσων.
- Το μέγεθος των δεδομένων που μπορεί να καταγραφεί από κάθε αισθητήρα κατά τη διάρκεια της αποστολής παρακολούθησης περιορίζεται στη χωρητικότητα των συσκευών αποθήκευσης επί του σκάφους.

Τα μειονεκτήματα αυτά μπορούν να ξεπεραστούν με τη σύνδεση προσδεδεμένων υποβρύχιων οργάνων μέσω ασύρματων ζεύξεων που στηρίζονται σε ακουστικές επικοινωνίες. Αν και υπάρχουν πολλά πρωτόκολλα δικτύου που αναπτύχθηκαν πρόσφατα για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, τα μοναδικά χαρακτηριστικά της υποβρύχιας ακουστικής επικοινωνίας διαυλου, όπως για παράδειγμα, η περιορισμένη χορητικότητα και οι υψηλές και μεταβλητές καθυστερήσεις στη μετάδοση, απαιτούν πολύ αποδοτικά και αξιόπιστα πρωτόκολλα μετάδοσης των δεδομένων.

Οι μεγάλες προκλήσεις του σχεδιασμού της υποβρύχιας ακουστικής δικτύων περιλαμβάνουν τις ακόλουθες πτυχές:

• Το διαθέσιμο εύρος ζώνης του υποβρύχιου καναλιού είναι εξαιρετικά περιορισμένο.

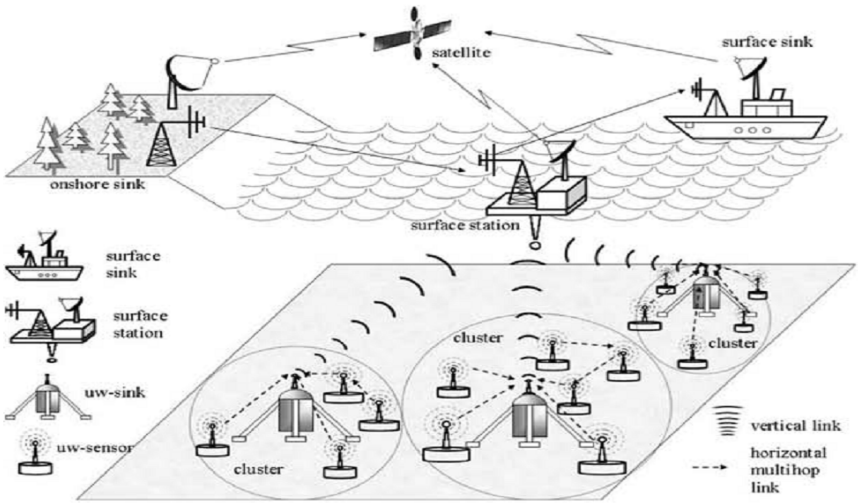
• Το υποβρύχιο κανάλι είναι φθαρμένο λόγω των πολλαπλών μονοπατιών και της εξασθένισης του σήματος.

• Η καθυστέρηση στη μετάδοση του σήματος είναι πέντε φορές σε τάξη μεγέθους υψηλότερη σε σχέση με τη ραδιοσυχνότητα (RF) και τα επίγεια κανάλια.

• Είναι πολύ πιθανή η εμφάνιση μεταβλητών και υψηλών ποσοστών σφάλματος καθώς και η προσωρινή απώλεια σύνδεσης (σκοτεινές ζώνες).

• Οι μπαταρίες των υποβρύχιων αισθητήρων έχουν περιορισμένη ισχύ και συνήθως δεν μπορούν να επαναφορτιστούν.

• Οι υποβρύχιοι αισθητήρες είναι επιρρεπείς σε αποτυχίες, λόγω των ακαθαρσιών και της διάβρωσης.



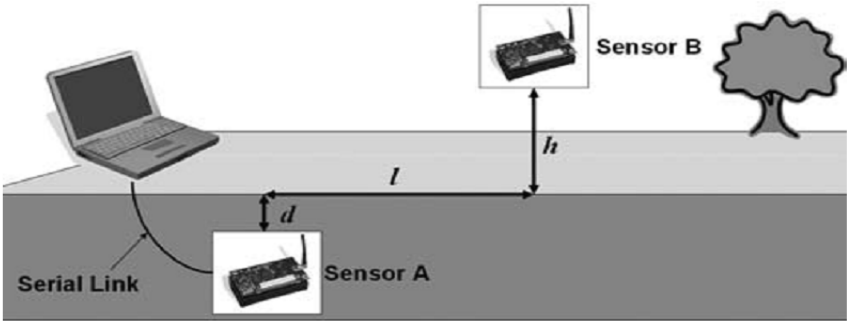
Σχήμα 8.3 : Υποβρύχιο Ασύρματο Δίκτυο Αυτοματισμού 2 Διαστάσεων

Η χρησιμότητα των WSNs ως μια απομακρυσμένη τεχνολογία παρακολούθησης δεν περιορίζεται στις παραδοσιακές επίγειες εφαρμογές ή σε ασύρματους αισθητήρες που χρησιμοποιούν ακουστικές επικοινωνιες για υποβρύχια παρακολούθηση, όπως περιγράψαμε λίγο πρίν. Είναι γενικά πιστευτό ότι ένας άλλος τομέας με χρήσιμες εφαρμογές της WSN τεχνολογίας έγκειται στο υπέδαφος.Αυτός ο τομέας είναι τα Υπόγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WUSNs) , τα οποία βρίσκουν εφαρμογή στους ακόλουθους τομείς:

• **Γεωργία**. Υπόγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να παρακολουθούνται οι συνθήκες του εδάφους, έτσι ώστε παράμετροι όπως,η περιεκτικότητα σε νερό,η περιεκτικότητα σε ανόργανες ουσίες, η αλατότητα και η θερμοκρασία,να μπορούν να διατηρηθούν σε βέλτιστα επίπεδα.Η γνώση των συνθηκών του εδάφους σε πραγματικό χρόνο είναι επίσης ωφέλιμη στην αρχιτεκτονική τοπίου, όπου τα WUSNs μπορούν να συνδυαστούν με συστήματα αυτόματου ποτίσματος έτσι ώστε το γρασίδι, τα δέντρα, και τα λουλούδια σε έναν κήπο να ποτίζονται μόνο όταν χρειάζεται.

• **Ασφάλεια**. Αισθητήρες θαμμένοι σε μικρό βάθος θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση κίνησης μέσω της πίεσης, δονήσεων ή ήχου. Αυτό μπορεί να είναι χρήσιμο για την ασφάλεια των επιχειρήσεων και των κατοικιών, καθώς και για στρατιωτικές εφαρμογές.

• **Παρακολούθηση των έργων υποδομής**. Ένα σημαντικό μέρος των υποδομών, συμπεριλαμβανομένων των υδραυλικών εγκαταστάσεων, καθώς και των καλωδίων ηλεκτροδότησης και επικοινωνιών είναι τοποθετημένο στο υπέδαφος.Μέσω αγωγών πολλών χιλιομέτρων, οι ασύρματοι αισθητήρες θα επιτρέπουν την γρήγορη και οικονομικά-αποδοτική ανάπτυξη ενός συστήματος ανίχνευσης διαρροών.Μια εξίσου σημαντική εφαρμογή θα μπορούσε να είναι και η παρακολούθηση του εδάφους γύρω από τις υπόγειες δεξαμενές όπως αυτές που είναι τοποθετημένες



στους σταθμούς καυσίμων.

Σχήμα 8.4 : Υπόγειο Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Ενώ υπόγειοι αισθητήρες βρίσκονται ήδη σε χρήση για πολλές από αυτές τις εφαρμογές, οι περισσότερες υπάρχουσες λύσεις δίνονται μέσω της καλωδίωσης. Όσες χρησιμοποιούν ασύρματες επικοινωνίες απαιτούν υπέργειες κεραίες και είναι σε θέση άμεσης επικοινωνίας μόνο με το κεντρικό σταθμό βάσης. Με βάση αυτή την πραγματικότητα, ορίζουμε ως ένα WUSNs μια ομάδα κόμβων των οποίων τα μέσα μετάδοσης δεδομένων και λήψης (π.χ., μία κεραία όταν είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία) είναι εντελώς υπόγεια.

Αυτό περιλαμβάνει καταστάσεις στις οποίες ένας κόμβος είναι υπόγειος, αλλά σε έναν ανοιχτό χώρο, για παράδειγμα, μια σπηλιά ή ένα ορυχείο, καθώς και όταν ένας κόμβος είναι εξ'ολοκλήρου μέσα στο πυκνό του εδάφους ή ενός βράχου. Με δεδομένη τη χρησιμότητα του ελέγχου των συνθηκών διαβίωσης στο υπέδαφος, στόχος μας ήταν να προσδιορίσουμε κατά πόσον οι τρέχουσες λύσεις WSN ισχύουν για το υπόγειο περιβάλλον αίσθησης. Δεδομένων των απωλειών σε διηλεκτρικό υλικό του εδάφους και των πετρωμάτων η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο υπόγειο περιβάλλον μπορεί να παρακωλυθεί σοβαρά.