

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ,
Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



**Εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων στη Γεωργία
Ακριβείας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΤΕΡΓΙΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Παναγιώτης Κίικρας

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Παναγιώτη Κίκιρα , τον καθηγητή Γεωπονίας κ. Σπυρίδωνα Φουντά και τον διδακτορικό φοιτητή Λεωνίδα Περλεπέ για την βοήθεια και την πολύτιμη καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Πρόλογος

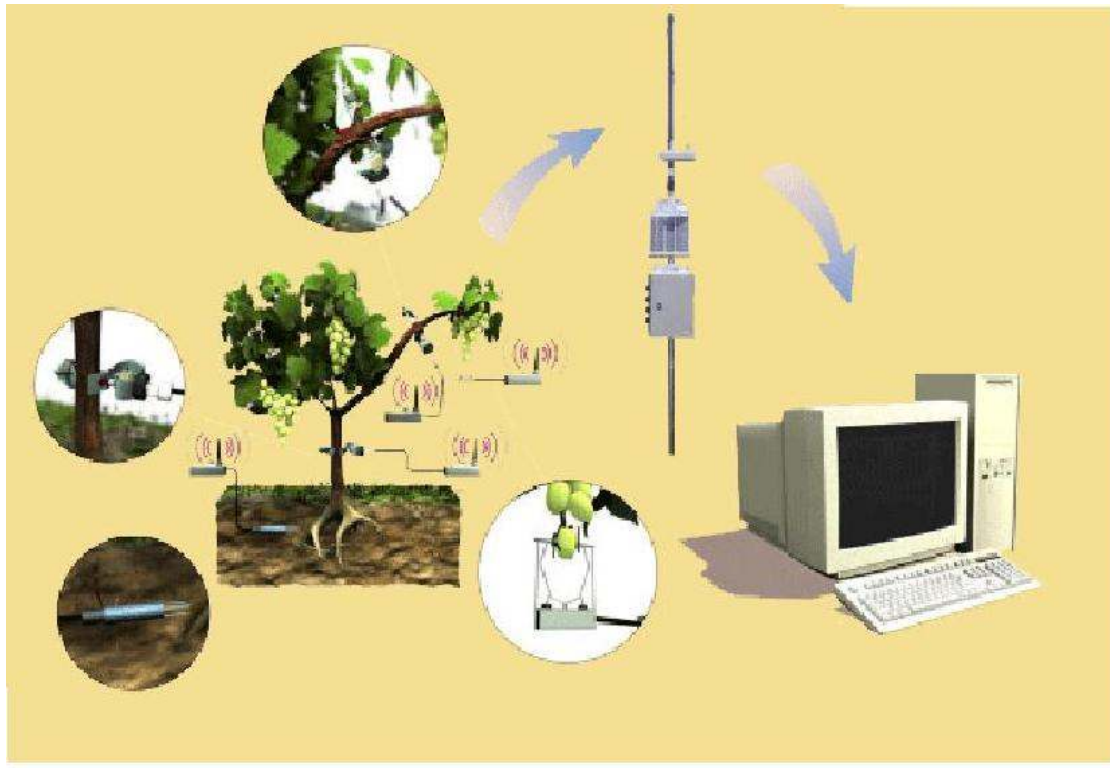
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν , τα τελευταία χρόνια, μια περιοχή με μεγάλη δραστηριότητα και πολλές εφαρμογές . Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από μικρού μεγέθους κόμβους με περιορισμένη αυτονομία και υπολογιστικές δυνατότητες. Στην εργασία αυτή θα αναφερθούμε στην Γεωργία Ακριβείας γενικά καθώς και τον τρόπο που μπορεί να συνδυαστεί με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επίσης θα αναφερθούμε στα τεχνικά χαρακτηριστικά του κόμβου , στην αρχιτεκτονική και τα χαρακτηριστικά του δικτύου αισθητήρων. Ακόμη θα αναλύσουμε τα πιθανά θέματα που σχετίζονται με την ασφαλή μετάδοση των δεδομένων μέσα στο δίκτυο καθώς και τρόπους αντιμετώπισης των κακόβουλων επιθέσεων. Τέλος θα παραθέσουμε ορισμένες αναφορές για πανομοιότυπες έρευνες από διάφορα ερευνητικά ινστιτούτα και πανεπιστήμια πάνω στον τομέα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και της γεωργίας ακριβείας .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Γεωργία Ακριβείας	6
1.1	Εισαγωγή – Παραλλακτικότητα αγρού	7
1.2	Οφέλη Γεωργίας Ακριβείας	9
1.3	Τεχνικές Γεωργίας Ακριβείας	10
1.4	Εργαλεία Γεωργίας Ακριβείας	12
1.5	Ζώνες διαχείρισης (Management zones)	13
1.6	Τεχνολογία	14
1.6.1	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS)	14
1.6.2	Global Positioning System (GPS)	16
1.6.3	Τεχνολογία Διαφοροποιούμενης δόσης (Variable Rate Technology - VRT)	18
1.6.4	Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Network – WSN)	20
1.7	Συμπεράσματα	20
2	Αισθητήρες	22
2.1	Αξιολόγηση ατομικών μετρικών του αισθητήρα	24
2.2	Δυνατότητες εξοπλισμού (Hardware) αισθητήρα	27
2.2.1	Ενέργεια	27
2.2.1.1	Τεχνολογίες μπαταρίας	27
2.2.1.2	Ανανεώσιμη ενέργεια	28
2.2.2	Ασύρματη επικοινωνία	29
2.2.2.1	Εύρος μετάδοσης	30
2.2.2.2	Τύπος διαμόρφωσης του σήματος	30
2.2.2.3	Κατανάλωση ισχύος	31
2.2.2.4	Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας	32
2.2.2.5	Χρόνος αφύπνισης	32
2.2.3	Επεξεργαστής	33
2.2.4	Υποστήριξη περιφερειακών συσκευών	34
2.3	Τεχνικά χαρακτηριστικά αισθητήρα	34
3	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	37
3.1	Εισαγωγή	38
3.2	Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN)	39
3.2.1	Μετρικές ενός ασύρματου δικτύου	39
3.2.1.1	Χρόνος ζωής	40
3.2.1.2	Περιοχή κάλυψης	40
3.2.1.3	Κόστος και ευκολία εγκατάστασης	41
3.2.1.4	Ακρίβεια του δικτύου αισθητήρων	41
3.2.1.5	Ασφάλεια του δικτύου αισθητήρων	42
3.2.1.6	Αποτελεσματικό εύρος δειγμάτων	42
3.3	Αρχιτεκτονική του δικτύου	42
3.3.1	Επίπεδα δικτύου WSN	43
3.4	Τοπολογία ασύρματου δικτύου αισθητήρων	47
4	Υλοποίηση του Project – Πειραματικά δεδομένα	58
4.1	Εισαγωγή	58
4.2	Προετοιμασία των αισθητήρων	59
4.3	Δημιουργία και εγκατάσταση του ασύρματου δικτύου Αισθητήρων	61
4.4	Μετρήσεις των αισθητήρων	62
5	Συμπεράσματα	72
6	Παρόμοια ερευνητικά πειράματα	73
6.1	Ολλανδία , Delft University of Technology	73
7.2	Project	74
7.3	EPFL Project	75

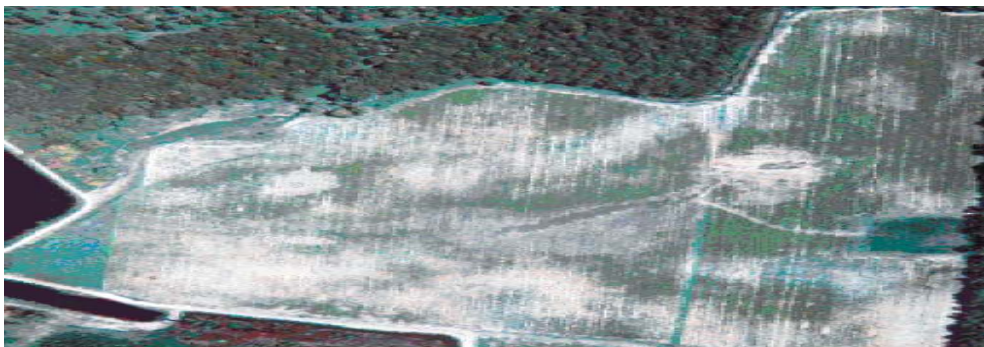
7.4 CTI.....	75
7.5 ARCH ROCK.....	76
7.6 IIM Calcuta , R & D Project.....	76
Βιβλιογραφία.....	77

1 ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ



1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΓΡΟΥ

Στο παρελθόν οι γεωργοί, εκτελούσαν τις καλλιεργητικές τους εργασίες χειρωνακτικά και είχαν άμεση επαφή με το έδαφος, την καλλιέργεια και τις διάφορες παραμέτρους που επηρέαζαν την παραγωγή τους. Έτσι γνώριζαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα τμήματα από το χωράφι τους με διαφορετικά χαρακτηριστικά, έχοντας τη δυνατότητα να διαφοροποιήσουν τη διαχείριση του κάθε τμήματος του αγρού τους αλλά και να ρυθμίσουν ανάλογα τις εισροές του, όπως νερό, οργανική ουσία, σπόρο κλπ. Με την ανάπτυξη και την εξέλιξη των γεωργικών μηχανημάτων, οι παραγωγοί έχουν τη δυνατότητα να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες εκτάσεις ενώ όμως χάνουν την άμεση επαφή με τον αγρό και εφαρμόζουν τις καλλιεργητικές τους εισροές σε δοσολογίες που αντιπροσωπεύουν μέσους όρους. Σήμερα, με τη βελτίωση των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών και με τη ανάπτυξη της τεχνολογίας γενικότερα, είναι δυνατή η αντιμετώπιση της παραλλακτικότητας ενός αγρού (Εικ. 1.1). Με τον όρο παραλλακτικότητα εννοούμε την αλλαγή στον τύπο του εδάφους μέσα στο ίδιο χωράφι και αυτή αφορά την περιεκτικότητα του εδάφους σε κάποια μεταλλικά συστατικά ζωτικής σημασίας για την απόδοση της εκάστοτε καλλιέργειας.



Εικόνα 1.1 Παραλλακτικότητα σε αγρό με βαμβάκι (αεροφωτογραφία)

Τα αίτια της παραλλακτικότητας του εδάφους ποικίλουν και όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα (Εικ.1.2) μπορεί να οφείλεται στο ίδιο το έδαφος ή τη κακή εφαρμογή των καλλιεργητικών τακτικών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι παραλλακτικότητας του εδάφους και παρακάτω ακολουθεί μια μικρή επισκόπηση αυτών. Η χωρική παραλλακτικότητα (spatial variability) τονίζει τις διαφορές της καλλιεργήσιμης έκτασης όσον αφορά τη παραγωγή. Για παράδειγμα όταν ένα τμήμα παρουσιάζει μεγαλύτερη απόδοση από ένα άλλο του αγρού. Η χρονική παραλλακτικότητα (temporal variability) καταδεικνύει τις μεταβολές στον αγρό με τη

πάροδο του χρόνου, όπως για παράδειγμα η απόδοση ενός τμήματος του αγρού μπορεί να μειωθεί κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας.

Τέλος υπάρχει η προγνωστική παραλλακτικότητα η οποία αναφέρεται στη πρόβλεψη του διαχειριστή όσον αφορά διάφορες παραμέτρους, όπως η ποσότητα λιπάσματος και νερού, και στο τελικό αποτέλεσμα. Για παράδειγμα είναι δυνατόν να υπάρχει η εκτίμηση ότι η χρήση ορισμένης ποσότητας λιπάσματος και νερού θα επιφέρει μια συγκεκριμένη ποσότητα παραγωγής, η τιμή της οποίας μπορεί να διαφέρει από την πραγματική.

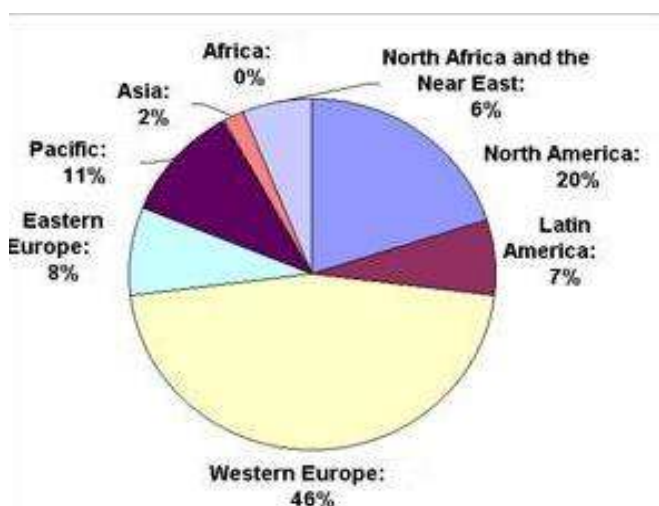


Εικόνα 1.2 Αίτια παραλλακτικότητας εδάφους

Η Γεωργία Ακριβείας (Precision Agriculture) είναι μια νέα προσέγγιση στη διαχείριση των αγρών και των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Η Γεωργία Ακριβείας είναι μια σύγχρονη μεθοδολογία προσέγγισης της γεωργίας με σύγχρονα μέσα, με σκοπό τη βελτιστοποίηση τόσο της ποιότητας όσο και της απόδοσης των αγροτικών καλλιεργειών. Αναφέρεται στη βέλτιστη χρήση των γεωργικών εισροών και των καλλιεργητικών πρακτικών με απώτερο στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας, των εσόδων καθώς και τη μείωση ανεπιθύμητων επιδράσεων στο περιβάλλον.

1.2 ΟΦΕΛΗ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Ένας από τους κύριους σκοπούς της Γεωργίας Ακριβείας είναι να κάνει τους αγρότες πιο ανταγωνιστικούς τόσο στην εγχώρια όσο και στη παγκόσμια αγορά. Ο παραγωγός είναι σε θέση να γνωρίζει, για το κάθε τμήμα του αγρού του, τη κατάλληλη ποσότητα λιπασμάτων, άρδευσης και χημικών ουσιών που θα πρέπει να εναποθέσει έτσι ώστε να έχει τη βέλτιστη απόδοση. Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι με τη χρήση των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας μπορούμε να επιτύχουμε εξοικονόμηση και αποδοτική χρήση πόρων, όπως για παράδειγμα το νερό. Υπάρχουν πολλές περιοχές που αντιμετωπίζουν πρόβλημα ύδρευσης ή ύπαρξης νερού, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα που δείχνει τη παγκόσμια κατανάλωση νερού (Εικ. 1.3). Επίσης παρατηρείται το φαινόμενο οι γεωργοί να ποτίζουν τις καλλιέργειες παραπάνω απ'ότι χρειάζεται. Έτσι μπορεί να μην έχουν την αναμενόμενη απόδοση και σε συνάρτηση με το γεγονός ότι σε πολλές περιοχές η άρδευση είναι μια αρκετά δαπανηρή διαδικασία, το αποτέλεσμα για τον παραγωγό δεν είναι το βέλτιστο.



Εικ. 1.3 Παγκόσμια κατανάλωση νερού

Επιπλέον ένα σημαντικό όφελος που απορρέει από τη χρήση των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας είναι ότι με την επεξεργασία των εκάστοτε τμημάτων του αγρού, μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες ζωτικής σημασίας που θα βοηθήσουν στην μελλοντική επεξεργασία του αγρού. Τέτοιες πληροφορίες είναι οι χάρτες αγωγιμότητας του εδάφους (conductivity maps) όπως και οι χάρτες απόδοσης που αφορούν τη σοδειά (yield maps). Οι τεχνικές της Γεωργίας Ακριβείας προσφέρουν μια συστηματική παρακολούθηση της ρύπανσης που δημιουργείται από τη χρήση φυτοφαρμάκων και χημικών ουσιών, οι οποίες καταλήγουν εντέλει στο έδαφος. Ο

παραγωγός είναι σε θέση να διαχειριστεί τις ποσότητες που θα χρησιμοποιήσει με σκοπό την αύξηση της ποιότητας των προϊόντων του. Αυτό βέβαια έχει ως απόρροια την βελτίωση της ποιότητας του φαγητού των καταναλωτών. Πιο συγκεκριμένα μπορούν να μειωθούν οι ποσότητες τοξικών και καρκινογόνων βακτηρίων και παρασίτων (aflatoxin) που περνούν στην τροφική αλυσίδα, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια των γεωργικών προϊόντων που καταναλώνονται. Τελικά η χρήση της Γεωργίας Ακριβείας μπορεί να οδηγήσει σε θετικά αποτελέσματα όσον αφορά την κατανάλωση των πόρων, τη χρήση διάφορων ουσιών και τα ποσά που δαπανούνται για τη βελτίωση της παραγωγής.

1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Υπάρχουν κάποια επίπεδα της Γεωργίας Ακριβείας τα οποία ποικίλουν ως προς το κόστος υλοποίησης τους, συνυπολογίζοντας και το κόστος της εκπαίδευσης των παραγωγών και των μηχανημάτων εφαρμογής κάποιων συγκεκριμένων τεχνικών. Είναι δυνατόν ο εκάστοτε παραγωγός να εφαρμόσει αρχικά μια όχι τόσο ακριβή τεχνική και κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας να την εμπλουτίσει με περισσότερες μεθόδους. Τα βασικά στάδια των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας παραθέτω στη συνέχεια:

➤ **Καταγραφή σοδειάς (yield monitoring)**

Αυτό είναι ένα καλό πρώτο βήμα για τους παραγωγούς. Η καταγραφή της σοδειάς περιλαμβάνει τη συλλογή μετρήσεων από τμήματα του αγρού και τα δεδομένα αυτά θα χρησιμοποιηθούν για την εύρεση της βέλτιστης λύσης όσον αφορά την απόδοση και τη ποιότητα της σοδειάς. Αποτελεί, με λίγα λόγια, τη βάση για μελλοντικές εφαρμογές μεθόδων πάνω στην ίδια καλλιέργεια.

➤ **Χαρτογράφηση παραγωγής (yield mapping)**

Το επόμενο στάδιο της εφαρμογής των τεχνικών της Γεωργίας Ακριβείας είναι η χαρτογράφηση της σοδειάς, η οποία προκύπτει από τα δεδομένα που έχει

περισυλλέξει ο παραγωγός από τη χαρτογράφηση της σοδειάς. Η ποσότητα που συλλέγει ο παραγωγός δεν είναι ίδια σε όλα τα σημεία του αγρού και αυτό μπορεί να οφείλεται σε ποικίλους παράγοντες όπως :ανομοιομορφία του τύπου ή του ανάγλυφου του αγρού, διαφορετικές ελλείψεις θρεπτικών στοιχείων, διαφορετική διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων του εδάφους ,διαφορετική τιμή pH, διαφορετικές προσβολές από έντομα και ζιζάνια. Έτσι μπορεί να δημιουργήσει κάποιους ενδεικτικούς χάρτες για να τονίσει ποια μέρη του αγρού παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα σε σχέση με κάποια άλλα.

➤ **Δειγματοληψία εδάφους (grid soil sampling)**

Η δειγματοληψία του εδάφους είναι η πιο χρονοβόρα διαδικασία. Περιλαμβάνει τη συλλογή συγκεκριμένων ποσοτήτων από το έδαφος του αγρού και από διάφορα τμήματά του με σκοπό την ανάλυση τους όσον αφορά τη γονιμότητα του εδάφους, τη περιεκτικότητά του σε ορισμένες ουσίες και ιόντα και άλλα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα δείγματα μπορούμε να έχουμε για την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (soil electrical conductivity).Η καλή γνώση των χαρακτηριστικών του εδάφους είναι χρήσιμη για τη μελλοντική βελτίωση της σοδειάς.

➤ **Επιτήρηση της σοδειάς (crop scouting)**

Η επιτήρηση της σοδειάς προσφέρει εκτιμήσεις για την ανάπτυξη της σοδειάς και την επιβάρυνση που δέχεται αυτή από έντομα και φυτοπαράσιτα (ζιζάνια, έντομα, ασθένειες φυτών).

➤ **Κράτηση ιστορικού και ανάλυση δεδομένων (record keep and analysis)**

Ο παραγωγός κράτα όλα τα δεδομένα και τις μετρήσεις από τα προηγούμενα στάδια και χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες σε μελλοντικές καλλιέργειες με σκοπό τη βελτίωση της ποιότητας και της ποσότητας των παραγόμενων προϊόντων.

Άλλες πρόσθετες εφαρμογές της Γεωργίας Ακριβείας είναι: κλιματολογικές συνθήκες και βροχόπτωση (Rainfall & other conditions), εφαρμογές ποικιλότητας

(variable applications) όπου μελετάται η ακριβής ποσότητα νερού και χημικών ουσιών που πρέπει να διοχετευθούν στη σοδειά.

1.4 ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Η Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιεί μια πληθώρα εργαλείων, μερικά από αυτά θα αναφέρω στη συνέχεια. Ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία είναι οι αισθητήρες. Πρόκειται για μηχανισμούς που μπορούν να εγκατασταθούν κυρίως στις μηχανές συγκομιδής των γεωργικών προϊόντων ή στο έδαφος και παρέχουν δεδομένα στη κονσόλα ελέγχου. Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων:

- ✓ *Αισθητήρας μέτρησης παραγωγής.* Αυτός είναι ο βασικότερος. Εγκαθίσταται σε συγκεκριμένα σημεία των μηχανών συγκομιδής και μετράει τη ροή παραγωγής.
- ✓ *Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας.* Εγκαθίσταται και αυτός σε συγκεκριμένα σημεία των μηχανών συγκομιδής αλλά και στο έδαφος και μετρά το ποσοστό υγρασίας του προϊόντος ή του περιβάλλοντος.
- ✓ *Αισθητήρας μέτρησης της ταχύτητας.* Εγκαθίσταται στους τροχούς της μηχανής συγκομιδής και μετρά την ταχύτητά της. Τελευταία έχουν αναπτυχθεί νεώτερης τεχνολογίας αισθητήρες που μετρούν την ταχύτητα με τη βοήθεια λέιζερ.

Επίσης άλλο ένα είδος εργαλείου της Γεωργίας Ακριβείας είναι συσκευές για τον έλεγχο των μηχανών σποράς και λίπανσης με σκοπό να ελέγχουν και να καθοδηγούν τον εξοπλισμό των χωραφιών. Τα εργαλεία αυτά δείχνουν την ακριβή ποσότητα σπόρων, νερού και λιπάσματος που πρέπει να τοποθετηθεί σε κάθε σημείο του αγρού.

1.5 ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ (MANAGEMENT ZONES)

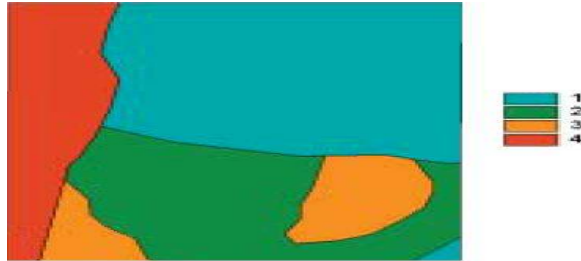
Ο στόχος της Γεωργίας Ακριβείας είναι ο εντοπισμός και η ταυτοποίηση της παραλλακτικότητας ενός αγρού και η διαχείρισή της με την εφαρμογή των καλλιεργητικών εισροών με διαφοροποιούμενη δόση. Κατά συνέπεια το πρώτο βήμα για την επίτευξη του στόχου είναι ο εντοπισμός επιμέρους ομοιόμορφων τμημάτων ενός αγρού, που χρήζουν διαφορετικής διαχείρισης. Ως ζώνη διαχείρισης ορίζεται « **ένα επιμέρους τμήμα ενός αγρού που χαρακτηρίζεται από έναν λειτουργικά ομοιογενή συνδυασμό ιδιοτήτων** ». Η χρήση των ζωνών διαχείρισης είναι ένας εύκολος τρόπος για την ταυτοποίηση, την ταξινόμηση και τη χωροταξική κατανομή της παραλλακτικότητας των χαρακτηριστικών ενός αγρού. Στη Γεωργία Ακριβείας το τελικό στάδιο είναι ένας ψηφιακός χάρτης του αγρού που απεικονίζει τις ζώνες διαχείρισης, το είδος των εισροών και τις δόσεις που εφαρμόζονται. Σε ένα ευέλικτο και ακριβές σύστημα διαχωρισμού ζωνών διαχείρισης οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, κατά τη δημιουργία των ζωνών, πρέπει να έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Σταθερότητα στο χρόνο
- Ευκολία στη μέτρηση
- Σχέση με την παραγωγή
- Χαμηλό κόστος

Η διαφοροποιημένη διαχείριση των επιμέρους ζωνών του αγρού βελτιώνει το οικονομικό αποτέλεσμα της γεωργικής εκμετάλλευσης, με τον εντοπισμό και την αντιμετώπιση των περιοριστικών παραγόντων της παραγωγής, στην έκταση και στην έντασή τους. Μια μεθοδολογία στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης είναι η δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling). Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία διαιρείται ο αγρός σε τμήματα με οριζόντιες και κάθετες γραμμές υπό τη μορφή πλέγματος και λαμβάνεται ένα δείγμα εδάφους από κάθε τομή των γραμμών του πλέγματος. Έτσι εντοπίζονται οι περιοχές με κοινά χαρακτηριστικά οι οποίες αποτελούν τις ζώνες διαχείρισης του αγρού. Η δειγματοληψία πλέγματος έχει τη δυνατότητα να εντοπίσει διαφορές στα επίπεδα των παραμέτρων που αναλύονται σε όλη την έκταση του αγρού, που είναι αδύνατο να καταγραφούν με την ενιαία δειγματοληψία (composite sampling). Ωστόσο οι περιορισμοί της συγκεκριμένης μεθοδολογίας είναι οι παρακάτω:

- i. Οι περιοχές μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας δεν καθορίζονται με ακρίβεια.
- ii. Οι στατιστικές μέθοδοι απαιτούν μεγάλο αριθμό δειγμάτων για τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών με ικανοποιητική ακρίβεια.

- iii. Η δειγματοληψία είναι χρονοβόρα και έχει μεγάλο κόστος σε ανθρώπινο δυναμικό.
- iv. Το κόστος της ανάλυσης των δειγμάτων είναι υψηλό.



Εικ. 1.4 Ζώνες διαχείρισης σε αγρό

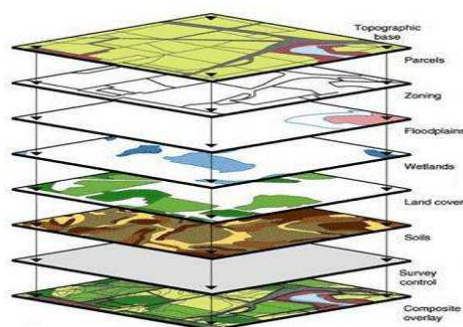
1.6 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας οι διάφορες πληροφορίες που αφορούν τον αγρό, αντιπροσωπεύονται από αριθμούς οι οποίοι περιγράφουν κάποιες παραμέτρους, επιτόπιες παρατηρήσεις ή εφαρμογή κάποιας εισροής με διαφοροποιημένη δόση. Οι πληροφορίες αυτές συνοδεύονται από το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού που αναφέρονται. Συνεπάγεται ότι ο όγκος των πληροφοριών είναι τεράστιος, έτσι η χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και κάποιου λογισμικού κρίνεται απαραίτητη.

1.6.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) είναι ένα λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί, οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται. Οι πληροφορίες σε ένα GIS απεικονίζονται πάντοτε ως ψηφιακοί χάρτες γιατί όλες οι πληροφορίες είναι προσδιορισμένες στο χώρο. Πρόσθετα εργαλεία όπως προσομοιώσεις, στατιστικές αναλύσεις και άλλες αναλυτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται από το GIS με σκοπό να βοηθήσουν στην εξαγωγή

συμπερασμάτων και στη λήψη αποφάσεων. Πέρα από τη χαρτογράφηση, οι βάσεις δεδομένων που συνδέονται με το GIS και τα εργαλεία του για το χειρισμό τους, καθιστούν το GIS ένα πολύτιμο εργαλείο. Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Εικ. 1.6), το GIS και οι πληροφορίες που παρέχονται από τον ψηφιακό χάρτη διακρίνονται σε διάφορα επίπεδα.



Εικ. 1.5 Τα επίπεδα του GIS

Αναλυτικότερα τα επίπεδα του GIS είναι: χάρτης βάσης, τοπογραφικά στρώματα, τύπος εδάφους, επίπεδα υγρασίας, μεταβλητοί ρυθμοί, χάρτης παραγωγής, λήψη δεδομένων από απόσταση. Το GIS κρίνεται απαραίτητο για τους εξής λόγους:

- I. Το 70% των πληροφοριών του έχει γεωγραφικό στίγμα και η δυνατότητα να επιτελεί χωρική ανάλυση των δεδομένων το καθιστά ένα σημαντικό εργαλείο
- II. Ικανότητα να αφομοιώνει δεδομένα, τόσο χωρικά όσο και μη-χωρικά, από διάφορες πηγές
- III. Δυνατότητα ψηφιακής απεικόνισης
- IV. Δυνατότητα ανάλυσης δεδομένων
- V. Δυνατότητα μετάδοσης των πληροφοριών

Βέβαια συγκεκριμένοι παράγοντες βοήθησαν στην ανάπτυξή του, όπως η τεχνολογική εξέλιξη, η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών, οι αισθητήρες και το κόστος του, που συνεχώς μειώνεται. Με τη χρήση του GIS ο παραγωγός μπορεί να έχει καλύτερη παραγωγή, να παίρνει τις καλύτερες αποφάσεις όσο αφορά την καλλιέργειά του, να έχει ψηφιακή αναπαράσταση και να βελτιώνει τις μεθόδους καλλιέργειας. Όσο αφορά τις αποφάσεις το GIS δεν δίνει από μόνο του τη σωστή λύση αλλά είναι ένα εργαλείο που βοηθά τον διαχειριστή να πάρει τη βέλτιστη απόφαση. Έτσι οι τομείς που βρίσκει εφαρμογή δεν είναι μόνο η γεωργία ακριβείας αλλά η δασοπονία όπως και οι επιχειρήσεις για την οργάνωσή τους σε ένα γραμμικό δίκτυο. Τέλος για

τη Γεωργία Ακριβείας υπάρχουν διάφορα πακέτα λογισμικού που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο παραγωγός και αυτά είναι:

- SSToolbox
- JDOffice
- AgInfo GIS
- SMS Basic & SMS Advanced

1.6.2 GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

Παγκόσμιο σύστημα καθορισμού θέσης (Global Positioning System - GPS) ονομάζεται ο σχηματισμός των 24 συνολικά δορυφόρων που αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Υπουργείο Αμύνης και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του γεωγραφικού στίγματος οποιουδήποτε σημείου πάνω στην επιφάνεια της γης. Κάθε δορυφόρος εκπέμπει ένα κωδικοποιημένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα, το οποίο λαμβάνεται από τους δέκτες GPS και χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του δέκτη. Ο δέκτης GPS λαμβάνει τα σήματα των δορυφόρων και υπολογίζει την χρονική καθυστέρηση στο σήμα που δέχεται και τη χρησιμοποιεί για να υπολογίσει την απόστασή του από κάθε δορυφόρο. Όταν δέχεται σήματα από τρεις τουλάχιστον δορυφόρους, ο δέκτης χρησιμοποιεί γεωμετρική ανάλυση για να καθορίσει τη θέση του, που εκφράζεται με γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Όταν λαμβάνει σήματα και από τέταρτο δορυφόρο μπορεί να καθορίσει και το υψόμετρο που βρίσκεται. Το GPS είναι το μέσο που βοηθά στον καθορισμό θέσης οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης αρκεί να υπάρχει «οπτική επαφή» με τους δορυφόρους. Σε κλειστούς ή στεγασμένους χώρους το GPS αδυνατεί να καθορίσει το στίγμα του. Το GPS βρίσκει εφαρμογή σε πολυάριθμους τομείς όπως η διαχείριση εναέριας κυκλοφορίας, η πλοήγηση πλοίων όπως και η γεωργία ακριβείας (Εικ. 1.7).



Εικ. 1.6 Δέκτης σήματος GPS

Η ακρίβεια του GPS εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες :

- ***Την εγκατάστασή του***

Η κεραία του GPS πρέπει να τοποθετείται στο ψηλότερο σημείο του γεωργικού μηχανήματος , ώστε να εξασφαλίζεται συνεχής «οπτική επαφή με τους δορυφόρους» και να αποφεύγονται παρεμβολές στο δορυφορικό σήμα από ανακλάσεις ή ακόμα και από τον κινητήρα της γεωργικής μηχανής.

- ***Την τεχνολογία του***

Οι παλιές τεχνολογίας δέκτες λάμβαναν σήμα από ένα δορυφόρο.Οι σημερινοί λαμβάνουν σήμα από 8 έως 12 δορυφόρους και χρησιμοποιούν εξελιγμένα γεωμετρικά μοντέλα για τον καθορισμό της θέσης τους.Εδώ πρέπει να αναφερθεί ο χρόνος επανάκτησης που είναι ο χρόνος που μεσολαβεί μέχρι ο δέκτης να επαναφέρει τις ενδείξεις όταν για κάποιο λόγο (π.χ. ψηλά κτίρια) διακοπεί η επαφή του με τους δορυφόρους.Ο χρόνος αυτός μειώνεται σημαντικά αν λαμβάνει σήμα από πολλούς δορυφόρους.

- ***Τον αριθμό των δορυφόρων που λαμβάνει σήμα καθώς και τις σχετικές θέσεις τους***

Όταν ο δέκτης βρίσκεται στη βάση ορεινών όγκων ή ανάμεσα σε ψηλά κτίρια έχει επαφή με λίγους και συγκεντρωμένους δορυφόρους σε μικρό τμήμα του ουρανού.Σε αυτή τη περίπτωση υπεισέρχονται σφάλματα στον υπολογισμό της θέσης του.Το σφάλμα αυτό εξαλείφεται όταν ο δέκτης έρχεται σε επαφή με δορυφόρους διασκορπισμένους σε μεγαλύτερο τμήμα του ουρανού.

- ***Τις παραμορφώσεις των δορυφορικών σημάτων από τον καιρό και άλλους παράγοντες***

Οι επιδράσεις του καιρού ,των ανωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας και η ανάκλαση του σήματος προκαλούν σφάλματα στο δέκτη κατά τη διάρκεια του καθορισμού της θέσης του.

- **Τη διαφορική διόρθωση**

Η διαφορική διόρθωση είναι ένας τρόπος εξάλειψης των σφαλμάτων που δημιουργούνται από διάφορους περιστασιακούς παράγοντες στην ακρίβεια του δέκτη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένας σταθερός επίγειος δέκτης και ταυτόχρονα πομπός GPS (διαφορικός σταθμός), με γνωστή θέση. Ο σταθμός αυτός μετρά συνεχώς την επίδραση των παραγόντων που προκαλούν παραμορφώσεις στο σήμα του δορυφόρου. Στη συνέχεια στέλνει σήματα στον κινητό δέκτη GPS, ο οποίος διορθώνει την ένδειξή του. Το GPS που χρησιμοποιεί τη μέθοδο αυτή ονομάζεται DGPS (Differentially Corrected GPS).

1.6.3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ (VARIABLE RATE TECHNOLOGY - VRT)

Η εφαρμογή εισροών με διαφοροποιούμενη δόση αποτελεί το πιο σημαντικό κομμάτι της Γεωργίας Ακριβείας. Μέσα από τη διαφοροποιούμενη εφαρμογή εισροών επιδιώκεται ένα σύστημα βελτίωσης της απόδοσης και μεγιστοποίησης του κέρδους από μια εκμετάλλευση. Μέχρι τη δεκαετία του '90, οι διαδικασίες για την ανάπτυξη χαρτών εφαρμογής εισροών με μεταβλητή δόση βασίστηκαν στην δειγματοληψία πλέγματος. Έρευνες έδειξαν ότι η παραλλακτικότητα του εδάφους είναι αρκετά υψηλή και χρειάζεται μεγάλος αριθμός δειγμάτων για τη διαμόρφωση ενός χάρτη αποδεκτής ακρίβειας, όπου θα βασίζονταν οι αποφάσεις για τη διαφοροποίηση των εισροών. Κάνοντας μια σύγκριση των ζωνών διαχείρισης που προκύπτουν από το χάρτη εδαφικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας και το χάρτη παραγωγής για κάθε καλλιέργεια προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο ευκολότερος και γρηγορότερος τρόπος για να γίνει διαφορετική διαχείριση των ζωνών αυτών με ένα πέρασμα με το μηχάνημα εφαρμογής κάποιας εισροής (υγρή ή στερεή) είναι με την τεχνολογία VRT. Υπάρχουν αρκετοί τομείς εφαρμογής της τεχνολογίας VRT, μερικούς από τους οποίους θα παρουσιάσω στη συνέχεια:

- **Λίπασμα**

Τα τμήματα της εκάστοτε καλλιέργειας έτσι όπως έχουν διαμορφωθεί από τη μελέτη των χαρτών παραγωγής δεν έχουν τις ίδιες απαιτήσεις στη λήψη φυτοφαρμάκων και άλλων χημικών ουσιών.

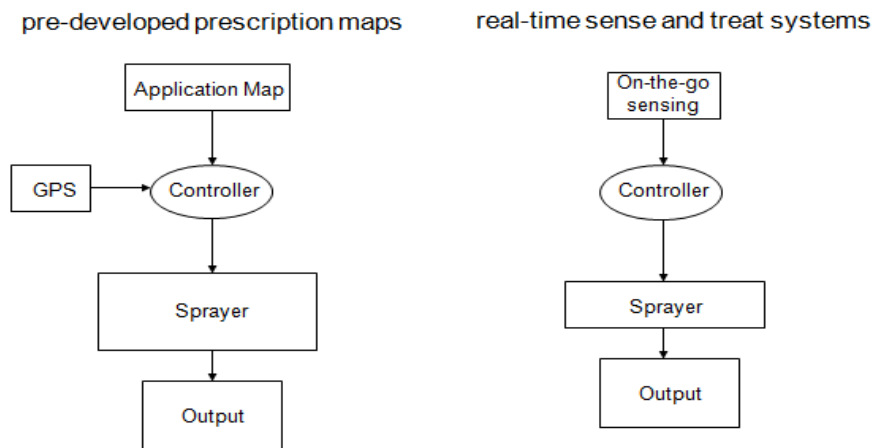
- **Άρδευση**

Η άρδευση της καλλιέργειας εξαρτάται από τα επίπεδα υγρασίας στα τμήματα του αγρού.

- **Ράντισμα**

Η ποσότητα καθώς και η ακριβής τοποθεσία χρήσης εντομοκτόνων και ζιζανιοκτόνων εξαρτάται από το μέρος που έχουν ανιχνευτεί έντομα ή ζιζάνια.

Υπάρχουν δύο τύποι τεχνολογίας VRT, αυτή που βασίζεται στην εκ των προτέρων ανάλυση της καλλιέργειας και η «real-time» που προσαρμόζεται σε σχέση με το χρόνο και τις απαιτήσεις της καλλιέργειας κάθε χρονική στιγμή (Εικ. 1.10).



Εικ. 1.7 Διαφορετικοί τύποι VRT

1.6.4 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ(WIRELESS SENSOR NETWORK – WSN)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) αποτελούνται από πολλούς αυτόνομους αισθητήρες οι οποίοι τοποθετούνται σε όλη την καλλιέργεια σε μέρη που καθορίζονται από συγκεκριμένο αλγόριθμο τοπολογίας και όχι τυχαία. Οι αισθητήρες αυτοί ανά τακτά χρονικά διαστήματα παίρνουν μετρήσεις που αφορούν την υγρασία του εδάφους, την ηλεκτρική αγωγιμότητά του και τη ποσότητα λιπάσματος που υπάρχει. Κάθε κόμβος έχει μια πλακέτα , πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα διάφορα αισθητήρια όργανα. Κάθε αισθητήριο όργανο είναι προγραμματισμένο να παίρνει μετρήσεις μόνο από έναν παράγοντα. Τα δεδομένα των αισθητήρων αποστέλλονται σε ένα σταθμό βάσης και στη συνέχεια μπορούν μέσω internet να σταλούν στο διαχειριστή της καλλιέργειας, ο οποίος με τη βοήθεια του GIS , μπορεί να κατασκευάσει χάρτες ακριβείας.

1.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εισαγωγή νέων τεχνολογιών είναι απαραίτητη στις εποχές με προβλήματα οικονομικότητας και ανταγωνιστικότητας των γεωργικών προϊόντων. Άλλωστε οι μεγαλύτερες αλλαγές στη Γεωργία συνέβησαν σε εποχές που οι παραγωγοί αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν καινούριες τεχνολογίες. Με τη Γεωργία Ακριβείας επιτυγχάνουμε τη βέλτιστη διαχείριση της γεωργικής εκμετάλλευσης και τον ακριβή προσδιορισμό των άριστων οικονομικά επιπέδων της παραγωγής.

Η εφαρμογή των μεθόδων της Γεωργίας Ακριβείας βοηθά στην μείωση του κόστους παραγωγής ποσοτικά ή ποιοτικά, με τη καλύτερη διαχείριση των εισροών και σε μερικές περιπτώσεις μείωσής τους. Η μείωση του κόστους παραγωγής μπορεί να επιτευχθεί ως εξής :

- ✓ **Μείωση εισροών** . Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να συντελέσει στην μείωση άσκοπων δαπανών στις καλλιέργειες , όπως για παράδειγμα η επιπλέον χρήση νερού για πότισμα της καλλιέργειας ή ακόμη και ορθό καραμερισμό της ποσότητας των λιπασμάτων στην καλλιέργεια σε συνάρτηση με τις ζώνες διαχείρισης.

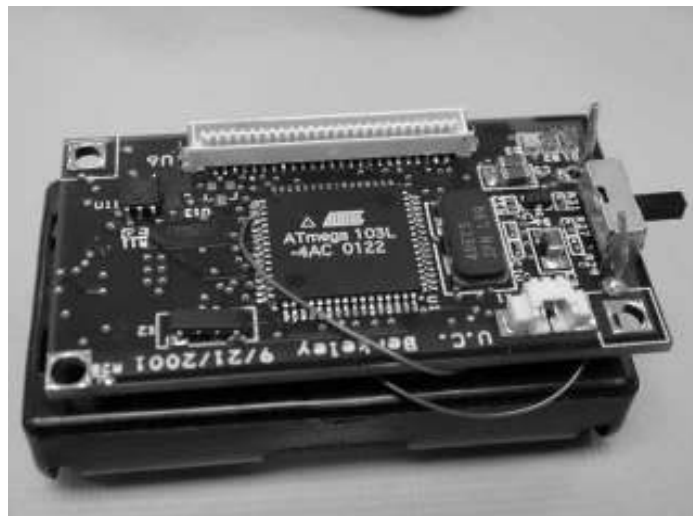
- ✓ *Εφαρμογή εδαφοβελτιωτικών* για την διαμόρφωση άριστων συνθηκών διαθεσιμότητας για τα θρεπτικά στοιχεία του εδάφους και αύξηση της παραγωγής.

- ✓ *Επέμβαση* με έντονες διαφυλλικές εφαρμογές όπου και όταν χρειάζεται για τη διόρθωση τροφοπενιών.

- ✓ *Χρησιμοποίηση των χαρτών παραγωγής* για την επιλογή κατάλληλης ποικιλίας ή υβριδίου και την αύξηση της παραγωγής.

Γίνεται προσπάθεια για την εξάλειψη των παραγόντων που μειώνουν την παραγωγή με τη βοήθεια της τεχνολογίας VRT. Τα οφέλη είναι προφανή τόσο για τον παραγωγό που αυξάνει την ποιότητα και την ποσότητα της παραγωγής του όσο και για το περιβάλλον. Σταματά η ρύπανση των εδαφών και του υδροφόρου ορίζοντα με τη μείωση των επιπλέον ποσοτήτων εισροών που ανεκμετάλλευτες καταλήγουν σε μέρη μη επιθυμητά. Επιλογικά πρέπει να τονίσουμε ότι η Γεωργία Ακριβείας αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του παραγωγού , συμβάλλει στην αύξηση της ποιότητας , της απόδοσης , της ανταγωνιστικότητας των γεωργικών προϊόντων καθώς και στη προστασία του περιβάλλοντος.

2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ



Εικ. 2.1 Αισθητήρας Mica

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που μετατρέπει ένα σήμα από μια συγκεκριμένη μορφή σε μια άλλη και χρησιμοποιείται για μετρήσεις και μεταφορά πληροφοριών. Ο αισθητήρας χρησιμοποιεί μια μορφή ενέργειας και τη μετατρέπει σε πληροφορία προς ανάγνωση για το σκοπό της μεταφοράς πληροφοριών και δεδομένων. Η ευαισθησία του αισθητήρα χρησιμοποιείται για να δείξει σε ποιο βαθμό έχει αλλάξει η έξοδος του αισθητήρα όταν μεταβάλλεται η ποσότητα που μετράται. Στις μέρες μας οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλούς τομείς.

Έτσι υπάρχουν πολλά είδη αισθητήρων για να μετρούν διαφορετικά πράγματα .
Συνοπτικά αναφέρω μερικές κατηγορίες αισθητήρων :

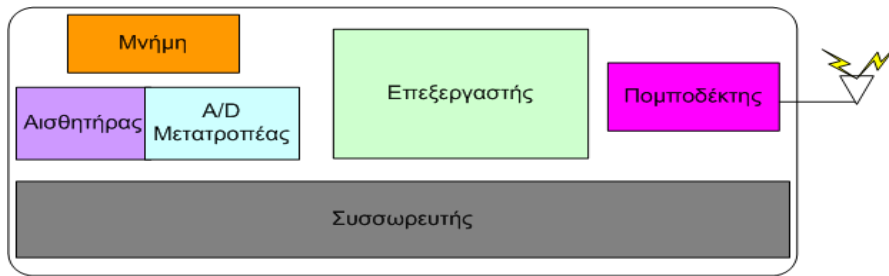
- Αισθητήρες μέτρησης θερμότητας
- Χημικοί αισθητήρες , όπου σε αυτούς συγκαταλέγονται οι αισθητήρες που μετρούν συγκέντρωση ιόντων, οξυγόνου και άλλων χημικών στοιχείων.
- Ηλεκτρομαγνητικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της τάσης και της ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Βιολογικοί αισθητήρες , οι οποίοι μετρούν διάφορα στοιχεία του περιβάλλοντος
- Αισθητήρες κίνησης και φωτός.

Ο κόμβος – πλακέτα πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένα τα αισθητήρια όργανα , που κάνους τις μετρήσεις , έχει τοποθετημένα και κάποια άλλα στοιχεία που είναι τα εξής :

- USB Connector για σύνδεση μέσω USB με υπολογιστή
- Επεξεργαστής
- Μια μπαταρία
- Κεραία μετάδοσης
- Κουμπί επαναφοράς (reset button)
- Μνήμη flash πάνω στην οποία αποθηκεύονται τα δεδομένα

Στη συνέχεια θα παραθέσω τα λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα καθώς και κάποιους παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στη σχεδίαση και στον προγραμματισμό του αισθητήρα. Κάνοντας μια απόπειρα να χωρίσουμε την αρχιτεκτονική του αισθητήρα σε υποσυστήματα προκύπτουν ότι στη βασική αρχιτεκτονική εμφανίζονται τα παρακάτω υποσυστήματα:

- ✓ Υποσυστήματα αισθητήρων
- ✓ Υποσύστημα επεξεργασίας
- ✓ Υποσύστημα επικοινωνιών
- ✓ Υποσύστημα τροφοδοσίας



Εικόνα 2.2 Υποσυστήματα αρχιτεκτονικής αισθητήρα

2.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΟΜΙΚΩΝ ΜΕΤΡΙΚΩΝ ΤΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Παρακάτω ακολουθεί μια αναφορά σε κάποια ατομικά χαρακτηριστικά του εκάστοτε αισθητήρα του δικτύου αισθητήρων τα οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση τόσο του αισθητήρα όσο και όλου του δικτύου. Ο βασικός στόχος είναι η κατανόηση της επίδρασης των αλλαγών σε χαμηλό επίπεδο αρχιτεκτονικής του συστήματος επηρεάζει την απόδοση ολόκληρου του δικτύου αισθητήρων.

❖ Ισχύς

Ο αισθητήρας για να μπορεί να υποστηρίξει εφαρμογές για μεγάλο χρονικό διάστημα θα πρέπει να καταναλώνει πολύ μικρή ισχύ, της τάξης των μικρό Αμπέρ (micro Amps). Αυτή η εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τον συνδυασμό χαμηλής κατανάλωσης συστημάτων αρχιτεκτονικής και εφαρμογών που απαιτούν να παίρνει ρυθμίσεις ο αισθητήρας σε αυστηρά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της εφαρμογής το σύστημα εκπομπής καταναλώνει μεγάλο ποσοστό της ενέργειας του αισθητήρα για να μπορεί να μεταδίδει τις μετρήσεις. Έτσι πρέπει να αναπτυχθούν αλγόριθμοι και πρωτόκολλα για να μειώνουν, όπου είναι εφικτό, την ασύρματη δραστηριότητα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας τοπικούς υπολογισμούς για τη μείωση της ροής των δεδομένων που περιέχουν τις μετρήσεις. Για παράδειγμα οι μετρήσεις από μια συγκεκριμένη ομάδα αισθητήρων (που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση), μπορούν να συνδυαστούν ως σύνολο και μετά να μεταδοθούν στο υπόλοιπο δίκτυο.

❖ Ευελιξία

Η αρχιτεκτονική του κάθε κόμβου πρέπει να είναι ευέλικτη και προσαρμοστική , όπως έχουν δείξει όλα τα πειράματα και οι υποθέσεις χρήσης του δικτύου.Για λόγους κόστους , κάθε αισθητήρας πρέπει να έχει τον εξοπλισμό που χρειάζεται για την κάθε εφαρμογή και όχι και άλλα περιττά συστατικά.Έτσι εάν αλλάξει η εφαρμογή που πρέπει να χρησιμοποιηθεί να μπορούν εύκολα να γίνουν αλλαγές στην αρχιτεκτονική του αισθητήρα αν αυτό κρίνεται απαραίτητο.

❖ Ευρωστία

Για να μπορεί ο αισθητήρας να υποστηρίζει μακροχρόνιες εφαρμογές θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος όσο πιο εύρωστος είναι δυνατόν.Για να επιτευχθεί αυτό , το σύστημα θα πρέπει να είναι σε θέση να «αντέχει» τη δυσλειτουργία ενός κόμβου.Έτσι κάθε συστατικό πρέπει να είναι όσο ανεξάρτητο είναι δυνατόν και οι εφαρμογές του να είναι περιορισμένες με στόχο την μείωση των μη αναμενόμενων διαταραχών.Επιπλέον ο αισθητήρας πρέπει να είναι ανθεκτικός σε εξωτερικές παρεμβολές.Αυτό μπορεί να συμβεί με τη χρήση συστημάτων επικοινωνίας ευρέως φάσματος και με πολλά κανάλια , λειτουργώντας σε διαφορετικές συχνότητες. Η ικανότητα να μπορεί να αποφευχθεί η χρήση συχνοτήτων που προκαλούν συμφόρηση στο δίκτυο είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την ευρωστία τόσο του κόμβου όσο και του δικτύου ολόκληρου.

❖ Ασφάλεια

Ο κάθε αισθητήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σύνθετους αλγόριθμους κρυπτογραφίας και αυθεντικοποίησης, επειδή η ασύρματη επικοινωνία είναι ευάλωτη σε εξωτερικές παρεμβολές.Ο επεξεργαστής του αισθητήρα θα πρέπει να περιέχει κρυπτογραφικές εφαρμογές για να μεταδίδει τα δεδομένα με ασφαλή τρόπο.Τέλος, ο κάθε αισθητήρας επειδή δεν αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες δεδομένων θα πρέπει να διατηρεί κάποια κρυπτογραφικά κλειδιά τα οποία δε θα μπορούν να εξαχθούν εύκολα από τη μνήμη του για να διασφαλίζει τις πληροφορίες που περιέχει.

❖ Επικοινωνία

Ένα σημαντικό μέτρο της απόδοσης ενός αισθητήρα είναι το εύρος επικοινωνίας.Εάν οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε μεγάλη απόσταση μεταξύ

τους (απόσταση μεγαλύτερη από αυτή που μπορούν να μεταδώσουν και να δεχθούν δεδομένα), τότε η μεταξύ τους επικοινωνία θα είναι αδύνατη.

❖ Υπολογισμός

Οι δύο πιο σημαντικές εφαρμογές υπολογισμού ενός αισθητήρα είναι η ικανότητα επεξεργασίας των δεδομένων του δικτύου που ανήκει ο αισθητήρας καθώς και η σωστή διαχείριση των πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας. Υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις «πραγματικού χρόνου» (real-time requirements) που σχετίζονται τόσο με την επικοινωνία όσο και με την ευαισθησία του αισθητήρα. Καθώς τα δεδομένα φθάνουν στον αισθητήρα, ο επεξεργαστής πρέπει στιγμιαία να ελέγχει την επικοινωνία και να καταγράφει ή να κωδικοποιεί τα δεδομένα. Οι αναλογικοί αισθητήρες μπορούν να αναπαράγουν χιλιάδες δείγματα το δευτερόλεπτο. Οι κοινές διεργασίες του αισθητήρα περιλαμβάνουν ψηφιακό φιλτράρισμα των δεδομένων, υπολογισμούς μέσω όρων, εντοπισμό κατώτατου ορίου μετρήσεων, συσχέτιση των δεδομένων και φασματική ανάλυσή τους. Επίσης είναι σημαντικό το γεγονός ότι οι γειτονικοί ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους.

❖ Συγχρονισμός

Για να είναι σε θέση ο αισθητήρας να υποστηρίζει συσχετίσεις δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και χαμηλή κατανάλωση, θα πρέπει να διατηρεί τον ακριβή χρόνο συγχρονισμού με τους γειτονικούς αισθητήρες. Αυτό είναι σημαντικό γιατί τυχόν λάθη μπορεί να δημιουργήσουν μεγάλες αποκλίσεις στις μετρήσεις των κόμβων.

❖ Μέγεθος & Κόστος

Το μέγεθος και το κόστος κάθε αισθητήρα έχει αντίκτυπο στην κατασκευή ολόκληρου του δικτύου. Το συνολικό κόστος ιδιοκτησίας και η αρχική ανάπτυξη είναι δύο παράγοντες «κλειδιά» που θα καθοδηγήσουν την επιλογή των αισθητήρων. Η μείωση του κόστους ανά κόμβο-αισθητήρα θα έχει ως αποτέλεσμα την επιλογή περισσότερων κόμβων με αποτέλεσμα περισσότερη ακρίβεια στις μετρήσεις και περισσότερο όγκο συλλεγόμενων δεδομένων. Επιπλέον το μέγεθος του αισθητήρα παίζει σημαντικό ρόλο. Αισθητήρες μικροί σε μέγεθος μπορούν να τοποθετηθούν σε πολλά μέρη δίνοντας έτσι μεγάλο εύρος σε σενάρια χρήσης τους.

2.2 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ (HARDWARE) ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Εφόσον παραπάνω αναλύσαμε τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά ενός ασύρματου αισθητήρα μπορούμε τώρα να αναλύσουμε τις δυνατότητες εξοπλισμού του , με στόχο να καταλάβουμε το ρυθμό μετάδοσης , κατανάλωσης ενέργειας και κόστος που περιμένουμε να έχουμε από τον αισθητήρα. Βέβαια πρέπει να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ των δυνατοτήτων και του μεγέθους του αισθητήρα έτσι ώστε να είναι κατάλληλος για τις διάφορες εφαρμογές που χρησιμοποιείται. Η ενότητα αυτή μας παρέχει μια γρήγορη επισκόπηση της σύγχρονης τεχνολογίας του αισθητήρα καθώς και τι διαφορές που υπάρχουν μεταξύ εφάμιλλων τεχνολογιών.

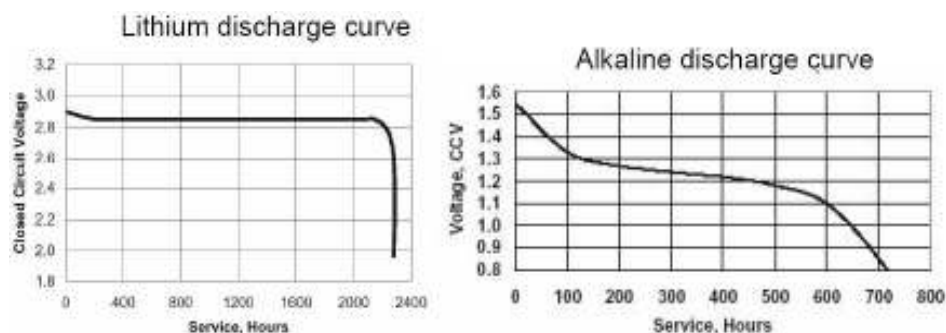
2.2.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Όπως η κατανάλωση ενέργειας των στοιχείων του αισθητήρα μετριέται συχνά σε μίλι Αμπέρ (mA) , συχνά η ισχύς των μπαταριών μετριέται σε μίλι Αμπέρ ανά ώρα (mAh). Στη θεωρία μια μπαταρία 1000 mAh μπορεί να υποστηρίξει έναν επεξεργαστή που καταναλώνει 10 mA για περίπου 100 ώρες. Στην πράξη όμως αυτό δεν επιβεβαιώνεται πάντα. Εξαιτίας των χημικών συστατικών της μπαταρίας , η τάση μπορεί να εξαρτάται από τον τρόπο με τον οποίο η ενέργεια εξάγεται από την μπαταρία. Αν ένα σύστημα δεν είναι ανεκτικό σε μείωση της τάσης τότε ενδεχομένως να μην μπορεί να χρησιμοποιήσει όλη την χωρητικότητα της μπαταρίας.

2.2.1.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΜΠΑΤΑΡΙΑΣ

Υπάρχουν τρεις κυρίως τεχνολογίες μπαταριών που είναι εφαρμόσιμες στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων – Αλκαλικές , Λιθίου και υβριδικές μετάλλου και νικελίου. Μία AA αλκαλική μπαταρία εκτιμάται σε 1.5 Volt , αλλά κατά τη χρήση της η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 1.65 – 0.8 Volt , και σε 2850 mAh . Με όγκο μόλις 8.5 κυβικά εκατοστά (cm³) έχει πυκνότητα ενέργειας περίπου 1500 Joules/ cm³ . Ενώ παρέχει μια φθνή , υψηλής περιεκτικότητας ενεργειακή πηγή τα βασικά μειονεκτήματά της είναι η εμφάνιση μιας μεγάλης περιοχής διακύμανσης της τάσης και το μεγάλο φυσικό μέγεθος της μπαταρίας. Το άλλο είδος μπαταρίας , η μπαταρία λιθίου , παρέχει μια μεγάλη συμπαγή πηγή ενέργειας. Επιπλέον παρέχει συνεχώς

τάση που εξασθενεί ελάχιστα όσο χρησιμοποιείται , όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3 τόσο η αποφόρτιση της αλκαλικής μπαταρίας όσο και η λιθίου.



Εικόνα 2.3 Καμπύλες αποφόρτισης τάσης αλκαλικής και μπαταρίας λιθίου

Ακόμη συσκευές που λειτουργούν με μπαταρίες λιθίου είναι πιο «ανεκτικές» σε μεταβολές τάσης από τις συσκευές που λειτουργούν με αλκαλικές μπαταρίες. Επίσης , σε αντίθεση με τις αλκαλικές , οι μπαταρίες λιθίου δεν μπορούν να λειτουργήσουν σε θερμοκρασίες κάτω των -40 βαθμών Κελσίου. Τα χαρακτηριστικά μιας κοινής μπαταρίας λιθίου είναι τα εξής : τάση 3 Volt, ισχύ 255 mAh και πυκνότητα ενέργειας περίπου 2400 Joules/ cm³.

Η άλλη κατηγορία μπαταρίας είναι η υβριδική μετάλλου και νικελίου , η οποία έχει το πλεονέκτημα ότι επαναφορτίζεται εύκολα. Η αρνητική πλευρά των επαναφορτιζόμενων μπαταριών είναι η σημαντική μείωση στην ενεργειακή πυκνότητα. Πριν σκεφθούμε τη χρήση αυτού του είδους της μπαταρίας είναι σημαντικό να αναλογιστούμε ότι παράγουν μόνο 1.2 Volt τάσης, επειδή πολλά στοιχεία απαιτούν 2 Volt ή και παραπάνω μπορεί να μην είναι σε θέση να λειτουργήσουν κανονικά με τέτοιου είδους μπαταρίες.

2.2.1.2 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Ως εναλλακτική λύση στη χρήση μπαταριών που έχουν αρκετή ενέργεια για μεγάλο χρονικό διάστημα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανανεώσιμες πηγές

ενέργειας. Τα σύγχρονα ηλιακά κύτταρα μπορούν να παράγουν μέχρι 10 mW ανά τετραγωνική ίντσα και αν το σύνολο της ενέργειας που συλλέγεται, κατά τη διάρκεια της μέρας, αποθηκευτεί σωστά τότε είναι επαρκές για τη διάρκεια της νύκτας. Για εφαρμογές που προϋποθέτουν το σενάριο της ηλιακής ενέργειας, το κλειδί της επιτυχίας βρίσκεται στον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύεται η ενέργεια που συλλέγεται. Οι σύγχρονοι πυκνωτές παρουσιάζουν μια δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας. Οι πυκνωτές αυτοί είναι πυκνωτές χαμηλής τάσης που κυμαίνεται από 1 έως 6 Farads. Όταν φορτίζονται με 3 Volt, περιέχουν αρκετή ενέργεια για να στείλουν εκατοντάδες ασύρματα πακέτα. Ενώ μπορούν να φορτιστούν και να αποφορτιστούν εύκολα, το σημαντικότερο μειονέκτημά τους είναι ότι παρουσιάζουν μια ανεπιθύμητη διαρροή της τάξης των 20 – 50 μ A όταν φορτίζονται με 3 Volt. Σε λειτουργίες χαμηλής ενέργειας αυτό το μειονέκτημα μπορεί γρήγορα να κυριαρχήσει στην κατανάλωση ενέργειας του αισθητήρα.

Οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας. Κατά τη διάρκεια έντονης ηλιοφάνειας η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί αργά προς τη μπαταρία. Συγκεκριμένα τα 66% της ενέργειας που συλλέγεται μπορεί να αποθηκευτεί σε μια υβριδική μπαταρία μετάλλου και νικελίου. Ενώ η αρχική φόρτιση της μπαταρίας είναι λιγότερο αποδοτική από τους σύγχρονους πυκνωτές, παρόλα αυτά οι μπαταρίες παρουσιάζουν μικρότερο ρυθμό αποφόρτισης από του πυκνωτές, και αυτό είναι σημαντικό πλεονέκτημα αν η ενέργεια πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μετά από αρκετές ώρες.

2.2.2 ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ

Το υποσύστημα ασύρματης επικοινωνίας είναι το πιο σημαντικό γιατί αυτό είναι που καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια σε έναν ασύρματο αισθητήρα. Οι σύγχρονοι χαμηλής κατανάλωσης και μικρής εμβέλειας πομποδέκτες καταναλώνουν μεταξύ 15 και 300 milliwatts όταν στέλνουν ή δέχονται κάποιο σήμα. Το κλειδί στην παρατήρηση του εξοπλισμού του αισθητήρα είναι είναι η ενέργεια που καταναλώνει ο πομποδέκτης όταν δέχεται και όταν μεταδίδει κάποιο σήμα. Η ενέργεια καταναλώνεται αν ο πομποδέκτης είναι ανοικτός, είτε μεταδίδει δεδομένα είτε όχι. Η ισχύς που εκπέμπεται από την κεραία είναι ένα κομμάτι μόνο της συνολικής ενέργειας που καταναλώνει ο πομποδέκτης. Το συνολικό κόστος ισχύος της ασύρματης επικοινωνίας μπορεί εύκολα να υπερισχύσει της κατανάλωσης του πομποδέκτη.

2.2.2.1 ΕΥΡΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Το εύρος μετάδοσης ενός ασύρματου συστήματος ρυθμίζεται από πολλούς παράγοντες. Ο πιο ευδιάκριτος παράγοντας είναι προφανώς η ισχύς μετάδοσης. Όσο περισσότερη ενέργεια δώσεις σε ένα σήμα τόσο πιο μακριά θα φθάσει. Άλλοι παράγοντες που ρυθμίζουν το εύρος μετάδοσης είναι η ευαισθησία που εμφανίζει ο δέκτης του σήματος, το κέρδος και η αποδοτικότητα της κεραίας του αισθητήρα καθώς και ο μηχανισμός κωδικοποίησης του σήματος.

Γενικά οι περισσότεροι ασύρματοι αισθητήρες δε μπορούν να εξασφαλίσουν υψηλές τιμές κέρδους γιατί αυτό απαιτεί την εγκατάσταση μηχανημάτων ευθυγράμμισης και αυτό βέβαια αποτρέπει τη δημιουργία ad-hoc τοπολογιών δικτύου.

Τόσο η ένταση της μετάδοσης όσο και η ευαισθησία του δέκτη μετριοούνται σε dBm. Οι τιμές ευαισθησίας στους τυπικούς δέκτες κυμαίνεται μεταξύ των τιμών -85 και -115 dBm. Το εύρος μετάδοσης του σήματος μπορεί να αυξηθεί αν αυξήσουμε την ισχύ μετάδοσης ή την ευαισθησία του δέκτη του σήματος. Όταν ο αισθητήρας μεταδίδει σε 0 dBm και με ευαισθησία δέκτη στα -85 dBm αυτό θα καταλήξει στη μετάδοση του σήματος σε απόσταση 100 έως 200 μέτρων. Ενώ αν η ευαισθησία του δέκτη αυξηθεί σε -115 dBm τότε μειώνεται και το εύρος μετάδοσης σε 20 έως 25 μέτρα.

2.2.2.2 ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό μιας οποιασδήποτε RF συσκευής είναι ο μηχανισμός διαμόρφωσης του σήματος. Οι περισσότερες κεραίες μεταβιβάζουν πληροφορίες διαμορφώνοντας ένα RF συνεχές σήμα. Ο πιο συνηθισμένος μηχανισμός διαμόρφωσης σήματος αφορά το πλάτος και τη συχνότητα μετάδοσης του σήματος. Η διαμόρφωση του πλάτους είναι η πιο εύκολη μέθοδος για την κωδικοποίηση και την αποκωδικοποίηση του σήματος αλλά είναι ευάλωτη στο φαινόμενο της δημιουργίας θορύβου στο σήμα. Σε αντίθεση, ο μηχανισμός διαμόρφωσης που στηρίζεται στη συχνότητα του σήματος είναι λιγότερο ευπαθής στη δημιουργία θορύβου γιατί όλα τα δεδομένα μεταδίδονται στο ίδιο επίπεδο ισχύος.

❖ Κεραίες ευμετάβλητης συχνότητας

Οι περισσότεροι πομποδέκτες που υπάρχουν σήμερα στην αγορά, χρησιμοποιούν μια VCO (Voltage Control Oscillator) αρχιτεκτονική κεραίας και έχουν την δυνατότητα να επικοινωνούν σε ένα εύρος συχνοτήτων μετάδοσης. Αυτό

τους δίνει τη δυνατότητα να είναι ανθεκτικοί σε σήματα παρεμβολής. Ακόμη για να μπορούν να μεταδώσουν σε 24 dBm ή σε 240 mW θα πρέπει να χρησιμοποιήσουν 25 διαφορετικά κανάλια συχνοτήτων. Αν χρησιμοποιήσουν μόνο ένα κανάλι τότε η ισχύς δεν θα ξεπερνά το 1 mW. Τέλος με αυτές τις κεραίες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε συχνοτήτες μετάδοσης FM που είναι πιο ανθεκτικές στις μεταβολές παρά AM.

❖ **Μεταπήδηση συχνότητας σε ευρύ φάσμα – Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)**

Είναι μια μέθοδος μετάδοσης σημάτων που αλλάζει γρήγορα το φέρων σήμα σε πολλά κανάλια συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας μια ψευδοτυχαία ακολουθία που είναι γνωστή μόνο στον πομπό και στο δέκτη. Με αυτό τον τρόπο το σήμα είναι περισσότερο ανθεκτικό στις παρεμβολές και αυξάνεται η αξιοπιστία του καναλιού μετάδοσης. Μια παρεμβολή μπορεί να διακόψει ένα μικρό κομμάτι δεδομένων αλλά ο κύριος όγκος δεδομένων θα μεταδοθεί μέσω του καναλιού στον δέκτη. Το κύριο μειονέκτημα είναι, όσον αφορά τους αισθητήρες, ότι επιβαρύνεται το δίκτυο προσπαθώντας να διατηρήσει και να συγχρονίσει όλα τα κανάλια συχνοτήτων μετάδοσης. Όταν ο αισθητήρας πρέπει να ανακαλύψει τους γειτονικούς του για να μεταδώσει δεδομένα, πρέπει να ψάξει σε όλα τα κανάλια και αυτό τον καθυστερεί.

❖ **Συχνότητα συνεχόμενου φάσματος μετάδοσης**

Σε αντίθεση με την παραπάνω μέθοδο η συγκεκριμένη χρησιμοποιεί μια απλή συχνότητα του φέροντος σήματος για την επικοινωνία των ασύρματων συστημάτων. Το σήμα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία απευθείας εξαπλώνεται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, πολυπλέκοντας το σήμα με μια ψευδοτυχαία ακολουθία υψηλότερου ρυθμού μετάδοσης. Κατά τη διάρκεια της λήψης το σήμα περνά μέσα από ηλεκτρονική διάταξη που επανακατασκευάζει το αρχικό σήμα εισόδου. Η μείωση της ευαισθησίας του πομποδέκτη αντισταθμίζεται από κέρδος που έχουμε κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του σήματος.

2.2.2.3 ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΙΣΧΥΟΣ

Για να διευκρινίσουμε την κατανάλωση ισχύος ενός σύγχρονου χαμηλής κατανάλωσης πομποδέκτη θα παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά δυο εμπορικών

συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας, το RF Monolithics TR1000 και το Chipcon CC1000.

Το RF Monolithics TR1000 καταναλώνει 21 mW ενέργειας όταν μεταδίδει στα 0.75 mW. Κατά τη διάρκεια της λήψης καταναλώνει 15 mW για να έχει τιμή ευαισθησίας -85 dBm. Από την άλλη πλευρά το Chipcon CC1000 καταναλώνει 50 mW για να μεταδώσει στα 3 mW και καταναλώνει , κατά τη διάρκεια της λήψης , 20 mW για να έχει τιμή ευαισθησίας -105 dBm . Πρακτικά , το εύρος μετάδοσης του πρώτου είναι περίπου 100 μέτρα ενώ του δεύτερου 300.

Αν χρησιμοποιήσουμε μια κοινή AA αλκαλική μπαταρία το Chipcon CC1000 θα λειτουργεί συνεχόμενα για 4 ημέρες αν μεταδίδει συνέχεια ενώ 9 ημέρες αν λαμβάνει συνεχόμενα.

2.2.2.4 ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Σε αντίθεση με άλλες απαιτητικές , υψηλής απόδοσης , εφαρμογές ένας αισθητήρας δε χρειάζεται ιδιαίτερα υψηλό ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων. 10 -100 kbps είναι ένα ικανοποιητικό εύρος ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων για τις περισσότερες εφαρμογές. Το Chipcon CC1000 και το RF Monolithics TR1000 προσφέρουν και τα δυο ταχύτητες 100 kbps περίπου.

2.2.2.5 ΧΡΟΝΟΣ ΑΦΥΠΝΙΣΗΣ

Κάνοντας μια ανάλυση της κατανάλωσης ισχύος του ασύρματου συστήματος του αισθητήρα υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν. Γενικά όλα τα στοιχεία της πλακέτας , πάνω στην οποία είναι τοποθετημένα τα αισθητήρια όργανα , τα οποία δεν χρησιμοποιούνται πέφτουν σε ύπνωση. Αυτό ισχύει και για τα αισθητήρια όργανα αλλά και για τον πομποδέκτη , γιατί έτσι εξοικονομείται ένα σημαντικό ποσό ενέργειας. Ένα πολύ σημαντικό στοιχείο είναι η δυνατότητα που έχει ο ασύρματος αισθητήρας να εισέρχεται ή να εξέρχεται από κατάσταση «ύπνου» σε κατάσταση λειτουργίας και το αντίστροφο. Άλλωστε όλα τα σενάρια χρήσης προϋποθέτουν ότι ο αισθητήρας θα βρίσκεται σε λειτουργία περιστασιακά και όχι συνεχώς. Πριν και μετά από τη μετάδοση των δεδομένων από τον αισθητήρα , χρόνος και ενέργεια καταναλώνονται για τη διαμόρφωση και τη λειτουργία της κεραίας και του ασύρματου συστήματος γενικά. Ιδανικά αυτό θα έπρεπε να ήταν μια φθηνή σε ενέργεια λειτουργία . Αν το σύστημα

πρέπει να αντιδρά σε κάποια σημαντικά γεγονότα τότε η κεραία θα πρέπει να τροφοδοτείται με ισχύ τουλάχιστον μια φορά το δευτερόλεπτο.

2.2.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ

Για την επιλογή ενός μικροεπεξεργαστή θα πρέπει να δοθεί σημασία σε σημαντικά χαρακτηριστικά όπως το κόστος, η κατανάλωση ισχύος, οι απαιτήσεις σε τάση, η υποστήριξη που παρέχει σε περιφερειακές συσκευές καθώς και ο αριθμός των εξωτερικών στοιχείων που χρειάζεται για να τεθεί σε λειτουργία.

Οι πιο συνηθισμένοι μικροεπεξεργαστές είναι των οκτώ ή δεκαέξι μπιτ (8 bit / 16 bit) και καταναλώνουν κατά μέσο όρο .250 – 2.5 mA την ώρα. Άλλο ένα σημαντικό στοιχείο είναι η κατανάλωση ισχύος του επεξεργαστή όταν αυτό βρίσκεται σε λειτουργία «ύπνου» (sleep mode). Ακόμη ένας σημαντικός παράγοντας είναι και ο χρόνος που χρειάζεται ο επεξεργαστής για να επανέλθει σε κανονική λειτουργία μετά από κατάσταση «ύπνου». Αυτός ο χρόνος υπολογίζεται κατά μέσο όρο ότι είναι περίπου 10 ms. Οι απαιτήσεις σε τάση ρεύματος που έχει ένας συνηθισμένος μικροεπεξεργαστής είναι από 2.7 έως 3.3 Volt. Παρόλα αυτά οι μικροεπεξεργαστές τελευταίας τεχνολογίας απαιτούν περίπου 1.8 Volt τάσης ρεύματος.

Ένας από τους κύριους ρόλους ενός επεξεργαστή είναι να εκτελεί τα πρωτόκολλα επικοινωνίας, να εκτελεί την κρυπτογράφηση και την επεξεργασία των δεδομένων και να αλληλεπιδρά με τον αισθητήρα. Οι περισσότερες από τις παραπάνω λειτουργίες δεν απαιτούν μεγάλη ταχύτητα επεξεργαστή, έτσι οι περισσότεροι επεξεργαστές έχουν την ικανότητα να λειτουργούν με συχνότητα 1 έως 8 MHz.

Γενικά οι αισθητήρες χρειάζονται μικρές ποσότητες αποθηκευτικού χώρου για τα δεδομένα τους. Τα δεδομένα αποθηκεύονται για τόσο χρονικό διάστημα όσο διαρκεί η επεξεργασία τους και στη συνέχεια η μετάδοσή τους στους γειτονικούς κόμβους. Γενικά ο αποθηκευτικός χώρος έχει μέγεθος από 1 έως 128 KB. Αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μνήμη του προγράμματος αλλά και ως αποθηκευτικός χώρος. Επιπλέον οι επεξεργαστές διαθέτουν και έναν ακόμη αποθηκευτικό χώρο μεγέθους από 32 έως 128 KB μνήμης RAM που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση των προγραμμάτων.

2.2.4 ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Οι επεξεργαστές των αισθητήρων είναι ειδικά σχεδιασμένοι για να αλληλεπιδρούν με άλλες εξωτερικές συσκευές. Συνήθως οι μικροεπεξεργαστές περιέχουν μια συλλογή από εξειδικευμένες διεπαφές για την επικοινωνία με άλλες συσκευές. Αυτές ποικίλουν από γενικής χρήσης εισόδου/εξόδου pins μέχρι υλικό για την ψηφιακή επικοινωνία αναλογικής εισόδου και εξόδου δεδομένων στον επεξεργαστή. Επίσης πολλοί επεξεργαστές διαθέτουν έναν μετατροπέα σημάτων από αναλογικά σε ψηφιακά. Ένας εσωτερικός μετατροπέας είναι υπεύθυνος για τον ακριβή χρόνο των δειγμάτων και για να διευκολύνει την πρόσβαση στα δείγματα των αποτελεσμάτων των μετρήσεων που πραγματοποιεί ο αισθητήρας.

Οι διεπαφές ψηφιακής επικοινωνίας έρχονται σε λειτουργία όταν υπάρχει αλληλεπίδραση με ψηφιακούς αισθητήρες, άλλα περιφερειακά τσιπς ή όταν πρόκειται για επικοινωνία με κεραίες.

2.3 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΑ

Τα παρακάτω χαρακτηριστικά αφορούν τον Moteiv Tmote Sky Ultra Low power IEEE 802.15.4 ασύρματο αισθητήρα, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί και για τα ερευνητικά πειράματα για ανάδειξη των μετρήσεων όσον αφορά τη γεωργία ακριβείας στη συνέχεια.

❖ Ισχύς

Μπορεί να πάρει μέχρι 2 AA μπαταρίες. Έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται στην περιοχή μεταξύ τάσης 2,1-3,6 Volt DC. Παρόλα αυτά η τάση πρέπει να είναι τουλάχιστον 2,7 Volt όταν προγραμματίζουμε την flash κάρτα του. Αν τοποθετήσουμε τον αισθητήρα σε θύρα USB για προγραμματισμό ή επικοινωνία, θα παίρνει ισχύ από τον υπολογιστή (δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μπαταριών) και η τάση είναι συνήθως 3 Volt. Τέλος η τάση δεν πρέπει να ξεπεράσει τα 3,7 Volt DC γιατί αυτό μπορεί να προκαλέσει ζημιά στον μικροεπεξεργαστή του αισθητήρα, στην κεραία ή σε άλλα στοιχεία του.

❖ Μικροεπεξεργαστής

Η χαμηλή κατανάλωση του συγκεκριμένου μοντέλου αισθητήρα οφείλεται στον χαμηλής ισχύος επεξεργαστή TEXAS Instruments MSP430 F1611 με 10 kB μνήμης RAM, 48 kB μνήμης flash και 128 B αποθηκευτικό χώρο για τα δεδομένα. Αυτός ο 16-bit RISC επεξεργαστής παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση με χρόνο αφύπνισης τα 6 μs. Παρόλα αυτά τα 292 ns είναι μια τυπική τιμή σε θερμοκρασία δωματίου. Επίσης διαθέτει εσωτερικά ένα ψηφιακό ταλαντωτή (DCO) που μπορεί να λειτουργεί μέχρι τη συχνότητα των 8 MHz. Παράλληλα με το DCO διαθέτει 8 εξωτερικές ADC θύρες και 8 εσωτερικές. Τέλος περιλαμβάνει μια μονάδα 2 θυρών 12-bit DAC και ένα 3 θυρών DMA ελεγκτή.

❖ Επικοινωνία με υπολογιστή

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιεί ένα USB ελεγκτή για να επικοινωνεί με τον υπολογιστή. Οι drivers πρέπει να είναι εγκατεστημένοι στον υπολογιστή προκειμένου να επιτευχθεί σωστά η επικοινωνία. Υπάρχουν drivers τόσο για Windows όσο και για άλλες πλατφόρμες όπως Linux, BSD και Macintosh. Στα Windows ο αισθητήρας εμφανίζεται ως μια COM θύρα στη διαχείριση συσκευών. Μια εφαρμογή μπορεί να διαβαστεί από τον αισθητήρα απλά ανοίγοντας την COM θύρα που αντιστοιχεί στον συγκεκριμένο αισθητήρα. Ο προγραμματισμός του γίνεται επίσης μέσω της θύρας USB και αφού αποδοθεί στον αισθητήρα μια 16-bit διεύθυνση.

❖ Ασύρματη επικοινωνία

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιεί το σύστημα Chipcon CC2420 για ασύρματη επικοινωνία. Το CC2420 χρησιμοποιεί το IEEE 802.15.4 πρωτόκολλο το οποίο παρέχει κάποιες λειτουργίες τόσο στο φυσικό επίπεδο όσο και στο επίπεδο MAC του δικτύου. Με υψηλή ευαισθησία και χαμηλή κατανάλωση ισχύος παρέχει αξιόπιστη ασύρματη επικοινωνία. Το CC2420 σύστημα ελέγχεται από έναν μικροεπεξεργαστή TI MSP430 μέσω της SPI θύρας και ένα σύνολο από ψηφιακές σειρές εισόδου/εξόδου. Η ασύρματη επικοινωνία μπορεί να σταματήσει κατά τη διάρκεια που ο αισθητήρας δεν παίρνει μετρήσεις με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το CC2420 σύστημα παρέχει ένα ψηφιακό σήμα ελέγχου (RSSI) το οποίο υπολογίζει το ποσοστό λάθους και την ποιότητα της ασύρματης γραμμής επικοινωνίας για κάθε πακέτο δεδομένων που παραλαμβάνει.

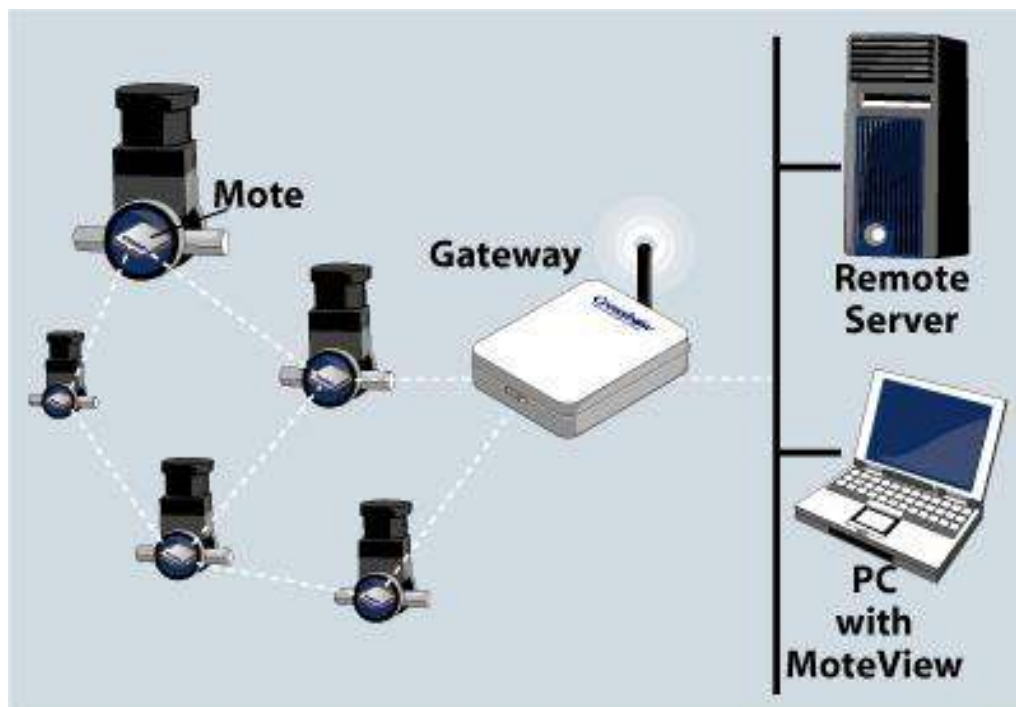
❖ Κεραία

Η εσωτερική κεραία του Tmote Sky αισθητήρα είναι ένα μικροτσιπ που εξέχει από το τέλος της πλακέτας μακριά από τη μπαταρία. Το σύστημα αυτό έχει ως όριο σωστής λειτουργίας τα 50 μέτρα σε εσωτερικούς χώρους και τα 125 μέτρα σε εξωτερικούς χώρους.

❖ Εξωτερική flash μνήμη

Ο Tmote Sky αισθητήρας χρησιμοποιεί την ST M25P80 40 MHz εξωτερική μνήμη για αποθήκευση των δεδομένων που προκύπτουν κατά τις μετρήσεις. Η μνήμη έχει χωρητικότητα 1024 kB και χωρίζεται σε 16 τμήματα , μεγέθους 64 kB το καθένα. Η μνήμη περιλαμβάνει λειτουργία προστασίας εγγραφής, η οποία απενεργοποιείται μόνο όταν ο αισθητήρας είναι συνδεδεμένος μέσω της θύρας USB στον υπολογιστή.

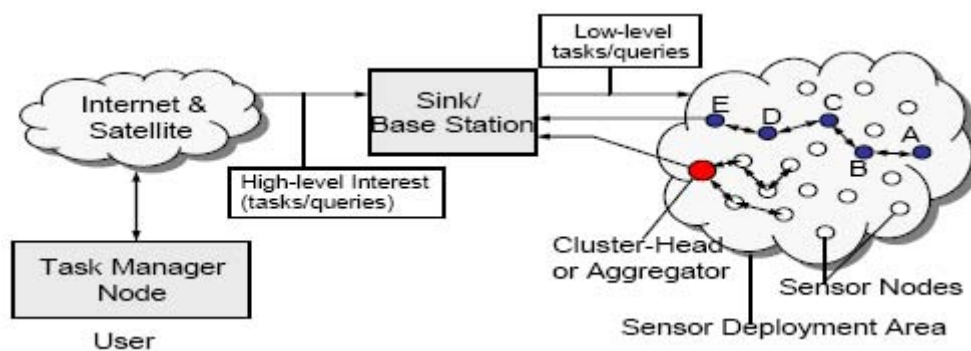
3 ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ



Εικ. 3.1 Παράδειγμα ασύρματου δικτύου αισθητήρων

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.1) είναι ένα ασύρματο δίκτυο το οποίο αποτελείται από αυτόνομες συσκευές ,που χρησιμοποιούν αισθητήρες, για να μετρούν κάποια συγκεκριμένα φυσικά και περιβαλλοντικά φαινόμενα. Η ανάγκη για να μετράμε αλλά και να παρακολουθούμε τα φαινόμενα αυτά (όπως η θερμοκρασία , το επίπεδο της υγρασίας , η οξύτητα του εδάφους , οι κραδασμοί , η ένταση και άλλα..) είναι κοινή σε διάφορα πεδία της επιστήμης όπως η γεωργία , η πληροφορική , η υγεία κ.α. Τα συγκεκριμένα ασύρματα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εποπτεία μιας γεωγραφικής περιοχής με σχετικά μικρό κόστος. Λόγω της συνεχόμενης τεχνολογικής ανάπτυξης , η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αισθητήρων έχει γίνει εφικτή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλούς τομείς της σύγχρονης ζωής και επιστήμης προς όφελος του ανθρώπου. Συνήθως στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων υπάρχει ένας κόμβος «συλλέκτης» (sink node) που χρησιμοποιείται για την λήψη και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που στέλνονται από τους υπόλοιπους αισθητήρες και στη συνέχεια μεταβιβάζει τα δεδομένα στον υπολογιστή ή σε κάποια ηλεκτρονική πύλη (gateway) για την προώθησή τους στο διαδίκτυο. Ένα διακριτό χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων δικτύων είναι ότι δεν υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ του αισθητήρα, της επικοινωνίας και του υπολογισμού των δεδομένων. Σε αντίθεση με το διαδίκτυο , όπου η δημιουργία δεδομένων είναι διαδικασία των σημείων τερματισμού του μηνύματος (end points) , στα δίκτυα αισθητήρων κάθε κόμβος είναι ταυτόχρονα δρομολογητής (router) και πηγή δεδομένων προς τα υπόλοιπα στοιχεία του ίδιου δικτύου (Εικόνα 3.2).



Εικ. 3.2 Τοπικό δίκτυο αισθητήρων

3.2 ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ (WSN)

Ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων είναι μια συλλογή από μικρές, αυτόνομες ενεργειακά μικρο-ηλεκτρονικές συσκευές. Συνήθως αυτά τα δίκτυα επικοινωνούν με ένα κεντρικό υπολογιστή ή με δορυφόρο. Στα πρώτα στάδια η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και των ελεγκτών βασιζόταν σε «άλματα» μήκους ένα (single hop). Πλέον στις μέρες μας τα WSNs είναι μια συλλογή από κόμβους που θα επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα multi-hop δίκτυο επικοινωνίας και παρέχουν συνδεσιμότητα με αποκεντρωτικό τρόπο δημιουργώντας ένα multi-hop δίκτυο. Τέτοιου είδους δίκτυα μπορούν να προσαρμόζουν την τοπολογία τους με δυναμικό τρόπο σε οποιεσδήποτε αλλαγές.

Τα WSNs σε σύγκριση με τους παραδοσιακούς αισθητήρες είναι πιο «έξυπνα» και κάποια δίκτυα είναι σχεδιασμένα για επεξεργασία στοιχείων μέσα από το δίκτυο και στη συνέχεια να τα συγκεντρώνουν και να τα μετατρέπουν σε δεδομένα υψηλότερου επιπέδου πριν τα εκπέμψουν. Πιθανότατα μια πυκνότερη υποδομή θα δημιουργούσε ένα πιο αποτελεσματικό δίκτυο αισθητήρων με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία.

3.2.1 ΜΕΤΡΙΚΕΣ ΕΝΟΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Υπάρχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του κάθε δικτύου αισθητήρων. Πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη τους υψηλού επιπέδου στόχους για το δίκτυο, τη χρήση για την οποία προορίζεται, και κάποια πλεονεκτήματα των WSNs έναντι των ήδη υπαρχόντων τεχνολογιών. Οι χαρακτηριστικές μετρικές «κλειδιά» για τα WSNs είναι ο χρόνος ζωής, η περιοχή κάλυψης, το κόστος, η ευκολία εγκατάστασης, η ακρίβεια των λειτουργιών, η ασφάλεια και το εύρος των δειγμάτων που συλλέγονται. Για τη σημασία των οποίων θα μιλήσουμε παρακάτω.

Ένα γεγονός είναι ότι συχνά πολλά χαρακτηριστικά των WSNs συσχετίζονται. Για παράδειγμα κάποιες φορές πρέπει να μειώνουμε την απόδοση σε

ένα χαρακτηριστικό , όπως ο χρόνος μετάδοσης δεδομένων, για να αυξήσουμε την απόδοση κάποιου άλλου, όπως η διάρκεια ζωής του δικτύου.

3.2.1.1 ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για οποιοδήποτε δίκτυο αισθητήρων είναι ο υπολογιζόμενος χρόνος ζωής του δικτύου. Ο στόχος της παρακολούθησης φυσικών φαινομένων και της ασφάλειας είναι η δημιουργία ενός δικτύου , που θα είναι τοποθετημένο σε μια γεωγραφική περιοχή και θα είναι ασφαλές για μήνες ή και χρόνια . Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο ζωής είναι η κατανάλωση ενέργειας . Κάθε κόμβος πρέπει να προγραμματίζεται έτσι ώστε να καταναλώνει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια έτσι ώστε να αυξάνεται συνολικά ο χρόνος ζωής του δικτύου . Είναι σημαντικό ο κάθε κόμβος να λειτουργεί σωστά για μεγάλα χρονικά διαστήματα ή και χρόνια . Γενικά ένα πλεονέκτημα ενός WSN είναι η ευκολία εγκατάστασης του. Εάν επιλέξουμε όμως και εξωτερική τροφοδοσία προς το κάθε κόμβο , το πλεονέκτημα αυτό μειώνεται σημαντικά . Αυτό συμβαίνει διότι είναι πιο δαπανηρή η εγκατάσταση αλλά κυρίως γιατί χάνει την ευελιξία και την επεκτασιμότητα που μπορεί να έχει το δίκτυο μας. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το χρόνο ζωής είναι η κατανάλωση ενέργειας για την επικοινωνία των κόμβων. Αυτή η ενέργεια μπορεί να μειωθεί , μειώνοντας το εύρος της ασύρματης μετάδοσης αλλά και θέτωντας όλα τα στοιχεία που δεν χρησιμοποιούνται σε λειτουργία «ύπνου».

3.2.1.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

Ο επόμενος κύριος παράγοντας μετά τη διάρκεια ζωής είναι η περιοχή κάλυψης ενός WSN . Είναι πολύ σημαντικό να έχουμε την δυνατότητα να εγκαταστήσουμε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε μια μεγάλη περιοχή . Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι το μέγεθος της περιοχής είναι ανεξάρτητο από το εύρος μετάδοσης των πληροφοριών από κάθε κόμβο . Τεχνικές multi-hop επικοινωνίας μπορούν να μας δώσουν τη δυνατότητα για επέκταση της περιοχής που επιθυμούμε να καλύψουμε με το δίκτυο . Παρόλα αυτά για ένα συγκεκριμένο εύρος οι τεχνικές multi-hop αυξάνουμε την ενέργεια που καταναλώνει κάθε κόμβος. Επιπλέον απαιτούν έναν ελάχιστο αριθμό κόμβων και αυτό συνήθως αυξάνει το κόστος εγκατάστασης . Συνδεδεμένο με το εύρος μετάδοσης είναι και η ικανότητα

διεύρυνσης του WSN . Συνήθως τοποθετούμε ένα μικρό δίκτυο στην αρχή πειραματικά και εφόσον πραγματοποιεί την επιθυμητή λειτουργία , εγκαθιστούμε στη συνέχεια και τους υπόλοιπους κόμβους.

3.2.1.3 ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΙ ΕΥΚΟΛΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η ευκολία εγκατάστασης τους. Πρέπει να είναι δυνατόν , για ένα μη εξειδικευμένο άτομο , να μπορεί να τοποθετήσει τους κόμβους του δικτύου σε μια περιοχή . Ιδεατά το σύστημα θα πρέπει να συντονίζεται μόνο του για οποιοδήποτε φυσική θέση του κάθε κόμβου . Παρόλα αυτά στα πραγματικά συστήματα υπάρχουν γεωγραφικοί περιορισμοί για την τοποθέτηση του κάθε κόμβου (είναι αδύνατο να έχουμε κόμβους με απεριόριστο εύρος μετάδοσης). Ακόμη κάθε κόμβος πρέπει να είναι ικανός να ανιχνεύει αυτόματα τους γειτονικούς του, στου οποίους και θα μεταδώσει τα δεδομένα . Η αρχική εγκατάσταση και διαμόρφωση του δικτύου είναι το πρώτο βήμα στο κύκλο ζωής του δικτύου . Μακροπρόθεσμα το συνολικό κόστος εξαρτάται περισσότερο από το κόστος συντήρησης του δικτύου. Το σενάριο που περιέχει και ασφαλή λειτουργία προϋποθέτει την εγκατάσταση συσκευών που είναι ιδιαίτερα ανθεκτικές . Ακόμη είναι σημαντικό ένα ποσό ενέργειας να αφιερώνεται για τη συντήρηση και την επαλήθευση του δικτύου . Δηλαδή , σε τακτά χρονικά διαστήματα , το δίκτυο θα πρέπει να εκτελεί διαγνωστικά τεστ για να εξακριβώνει εάν λειτουργούν σωστά οι κόμβοι του και δεν υπάρχει κάποιου είδους παρεμβολή .

3.2.1.4 ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Σε εφαρμογές που αφορούν το περιβάλλον , όπως η γεωργία ακριβείας , δείγματα από πολλαπλούς κόμβους πρέπει να συλλέγονται και να διασταυρώνονται για να κατανοηθεί πλήρως το φαινόμενο που μελετάται . Η αναγκαία ακρίβεια αυτού του μηχανισμού εξαρτάται από το εύρος μέτρησης και μετάδοσης . Για παράδειγμα , όσον αφορά τη μέτρηση της υγρασίας σε έναν αγρό , τότε το ασύρματο δίκτυο θα πρέπει να βρίσκεται σε ολόκληρο τον αγρό και όχι σε ένα μέρος του . Έτσι το δίκτυο θα πρέπει να διατηρεί μια βάση δεδομένων όπου θα αποθηκεύονται τα δείγματα των κόμβων από τα οποία θα προκύπτει το γενικό συμπέρασμα .

3.2.1.5 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Παρά την φαινομενικά αβλαβή φύση των πληροφοριών θερμοκρασίας και φωτεινότητας από μια εφαρμογή παρακολούθησης ενός περιβάλλοντος , η διατήρηση αυτών των πληροφοριών με ασφάλεια είναι πολύ σημαντικό . Το σύστημα πρέπει να διατηρεί την ιδιωτικότητά του και να παρέχει μηχανισμούς αυθεντικοποίησης των δεδομένων που αποθηκεύει και παράγει. Δεν θα πρέπει να είναι πιθανή η εισαγωγή ενός μηνύματος σφάλματος . για παράδειγμα , από μια άλλη εφαρμογή που δεν ανήκει στο δίκτυο . Για αυτό είναι σημαντικό το WSN να παρέχει μηχανισμούς κρυπτογράφηση και αυθεντικοποίησης των δεδομένων του .

3.2.1.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟ ΕΥΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Για ένα δίκτυο που συλλέγει δεδομένα , το αποτελεσματικό εύρος δειγμάτων είναι πρωταρχικός στόχος . Ορίζουμε το αποτελεσματικό εύρος δειγμάτων ως το εύρος δεδομένων που μπορούμε να πάρουμε από κάθε κόμβο του δικτύου και να τα συγκεντρώσουμε παράγοντας ένα συμπέρασμα . Για παράδειγμα , οι τυπικές εφαρμογές παρακολούθησης του περιβάλλοντος συνήθως περιλαμβάνουν 1-2 δείγματα το λεπτό . Σε ένα γράφημα συλλογής δεδομένων , κάθε κόμβος πρέπει να έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει και τα δεδομένα των γειτόνων του. Αυτή η πολλαπλασιαστική αύξηση της επικοινωνίας έχει σημαντική επίδραση στις απαιτήσεις του συστήματος .

3.3 ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η αρχιτεκτονική του ασύρματου δικτύου αισθητήρων , σαν σύνολο , πρέπει να συμπεριλάβει πολλές διαφορετικές πτυχές :

1. Η αρχιτεκτονική των πρωτοκόλλων πρέπει να συμπεριλάβει τόσο την προσέγγιση της εφαρμογής όσο και της κατανάλωσης ενέργειας.
2. Ποιότητα της υπηρεσίας (Quality-of-Service) , ανεξαρτησία και ακρίβεια στα δεδομένα που διαβάζονται από τους αισθητήρες και προωθούνται πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη.
3. Οι δομές διευθυνσιοδότησης στα WSNs είναι πιθανό να διαφέρουν από δίκτυο σε δίκτυο. Επεκτασιμότητα του δικτύου και περιορισμοί στην κατανάλωση ενέργειας μπορεί να απαιτούν μια δομή χωρίς διευθύνσεις (address-free structure). Κατανεμημένη ανάθεση διευθύνσεων μπορεί να είναι μια τεχνική – κλειδί , ακόμα και αν αυτές οι διευθύνσεις είναι μοναδικές σε σύστημα γειτόνων με δύο άλματα (two – hop neighborhood scheme). Ακόμη γεωγραφικές και δομές διεύθυνσης σε σχέση με τα δεδομένα απαιτούνται.
4. Μια σημαντική ιδιότητα των WSNs θα είναι η αναγκαιότητα αλλά και η χωρητικότητα της επεξεργασίας των δεδομένων μέσα στο δίκτυο. Αυτό αφορά την ενσωμάτωση των δεδομένων που προέρχονται από τους αισθητήρες και την κατανεμημένη επεξεργασία του σήματος. Επιπλέον η ενσωμάτωση των δεδομένων μπορεί να μειώσει τον αριθμό των πακέτων που είναι προς μετάδοση.
5. Η ύπαρξη μιας εξωτερικής πύλης για τη σύνδεση σε μεγαλύτερο δίκτυο (για παράδειγμα μια Internet Gateway). Εδώ ένα ακόμη θέμα είναι η γεφύρωση και η χρήση διαφορετικών πρωτόκολλων. Για παράδειγμα σε υπηρεσίες διαδικτύου θα περιγράφαμε μια WSN υπηρεσία με sensor web enablement . Το sensor web είναι ένα « άμορφο» δίκτυο , από αισθητήρες που είναι κατανεμημένοι στο χώρο που θέλουμε να πάρουμε μετρήσεις και επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα είναι ότι αυτή η «άμορφη» αρχιτεκτονική είναι μοναδική γιατί μπορεί να είναι συγχρονισμένη και router- free , ενώ παράλληλα αναγνωρίζεται από τα πιο πολλά δίκτυα που χρησιμοποιούν TCP/IP .
6. Ανάμεσα σε μεγάλες χρονικές περιόδους είναι πιθανό να αναθέσουμε άλλες εργασίες στο WSN.

3.3.1 ΕΠΙΠΕΔΑ ΔΙΚΤΥΟΥ WSN

Τα WSNs έχουν ενεργειακούς περιορισμούς επειδή οι κόμβοι των δικτύων αυτών χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας τις μπαταρίες. Έτσι τα πρωτόκολλα που θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να εξασφαλίζουν την εξοικονόμηση ενέργειας. Παρακάτω ακολουθεί μια αναφορά στα επίπεδα του OSI μοντέλου αναφοράς (και στα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε κάθε επίπεδο). Ακόμη έχει παρατηρηθεί ότι το OSI μοντέλο δεν μπορεί να μας βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας και έτσι υπάρχει και η προσέγγιση του cross-layer σχεδιασμού , ο οποίος θα αναλυθεί παρακάτω:

OSI μοντέλο

1.Φυσικό επίπεδο (physical layer)

Το ερώτημα που προκύπτει είναι πως θα καταφέρουμε να εκπέμπουμε τα δεδομένα, όσο το δυνατόν με λιγότερη ενέργεια , συμπεριλαμβάνοντας και κάποια μειονεκτήματα (όπως η υπερφόρτωση του δικτύου, πιθανές επανεκπομπές ίδιων δεδομένων κ.α.). Το φυσικό επίπεδο καθορίζει το bit-rate,γνωστό επίσης και ως χωρητικότητα του καναλιού,το εύρος σήματος αλλά και την ταχύτητα της σύνδεσης. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί FDMA,CDMA ή TDMA τεχνική για τον καθορισμό του τρόπου επικοινωνίας των κόμβων του δικτύου.Ένα πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται είναι το IEEE 802.15.4,το οποίο είναι ιδιαίτερα ευέλικτο καθώς επιτρέπει τον καθορισμό πολλαπλών ρυθμών δεδομένων και συχνοτήτων μετάδοσης.Ακόμη άλλα πρωτόκολλα είναι το ZigBee και το IEEE 1451.5 .

2.MAC Layer

Το MAC επίπεδο δικτύου έχει το σημαντικό ρόλο να εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του δικτύου.Τα MAC πρωτόκολλα είναι υπεύθυνα να εξασφαλίζουν την αποφυγή συγκρούσεων,δηλαδή δυο κόμβοι να μην μεταδίδουν δεδομένα ταυτόχρονα.Τα MAC πρωτόκολλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε συγχρονισμένα και ασύγχρονα.Μερικά συγχρονισμένα MAC πρωτόκολλα είναι: S-MAC,LL-MAC,Z-MAC,802.15.4.Μερικά ασύγχρονα MAC πρωτόκολλα είναι: B-MAC,X-MAC. Ακόμη υπάρχουν και άλλα πρωτόκολλα όπως το ZigBee, το 802.15.4,το MMH-MAC.Επίσης υπάρχουν και τα real-time πρωτόκολλα όπως το RRMAC και το TOMAC.

❖ Συγχρονισμός

Ο χρόνος παίζει σημαντικό ρόλο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων,ειδικά για εφαρμογές που απαιτούν αρκετά ακριβή συλλογή των δεδομένων των αισθητήρων σε σχέση με το χρόνο αλλά και στην διατήρηση της ενέργειας σε πολλά MAC πρωτόκολλα.Πρωτόκολλα συγχρονισμού είναι το L-SYNC,το CHTS,το PCTS και το SLTP.Συγκεντρωτικά οι λόγοι για τους οποίους είναι σημαντικός ο συγχρονισμός αναφέρονται παρακάτω:

- ❖ **Συγκέντρωση δεδομένων.** Τα δεδομένα από όλους τους αισθητήρες συλλέγονται και αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων, την οποία μελετούμε για να έχουμε ασφαλή συμπεράσματα.
- ❖ **Υπολογισμός του χρονικού μεσοδιαστήματος.** Σε ορισμένες περιπτώσεις τα φαινόμενα που παρατηρούμε μπορεί να είναι το χρονικό μεσοδιάστημα μεταξύ κάποιων λειτουργιών των αισθητήρων σε ένα δίκτυο. Σε αυτή τη περίπτωση δυο κόμβοι πρέπει να έχουν πληροφορίες σε σχέση με το χρόνο για να υπολογίσουν το χρονικό μεσοδιάστημα των γεγονότων.
- ❖ **Πρόσβαση ελεύθερη συναγωνισμού στο ασύρματο κανάλι.**
- ❖ **Συντονισμός.** Υλοποίηση ενός δικτύου του οποίου οι κόμβοι συντονίζονται μεταξύ τους και αναθέτουν εργασίες στον καθένα από αυτούς.

3.Επίπεδο Δικτύου(Network layer)

Ο κύριος στόχος στο επίπεδο δικτύου είναι να δρομολογήσουμε τα δεδομένα από τους αισθητήρες των κόμβων με ένα αξιόπιστο και ενεργειακά συμφέροντα τρόπο. Η δρομολόγηση στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελεί πρόκληση εξαιτίας κάποιων χαρακτηριστικών.

- ❖ Δεν είναι δυνατόν να σχεδιάσουμε ένα καθολικό σχήμα IP διευθύνσεων στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Άλλωστε τα δίκτυα αυτά είναι κυρίως data-centric δίκτυα.
- ❖ Σχεδόν όλες οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων απαιτούν τη ροή των δεδομένων από διαφορετικούς κόμβους προς τον κόμβο «καταβόθρα» για την αποθήκευσή τους.
- ❖ Η ροή των δεδομένων παρουσιάζει μεγάλο βαθμό πλεονασμού γιατί γειτονικοί κόμβοι μπορούν να καταγράψουν τα ίδια δεδομένα.

Η κυρίως προσέγγιση για τη δρομολόγηση είναι η data-centric δρομολόγηση. Αυτή η προσέγγιση, ίσως είναι η πιο σημαντική για τα WSNs. Μας υπόσχεται το συνδυασμό εφαρμογών που χρειάζονται να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα (και όχι ατομικά οι κόμβοι) με ένα σύστημα ενδο-δικτυακής επεξεργασίας. Για παράδειγμα ένας κόμβος με κάποια δεδομένα τα γνωστοποιεί στο δίκτυο και όποιος κόμβος ενδιαφέρεται για αυτά τα δεδομένα μπορεί να συμβάλλει σε αυτό το γεγονός. Έτσι ένας κόμβος μπορεί να συμμετέχει σε γεγονότα του τύπου «Δώσε μου όλα τα στιγμιότυπα στα οποία η θερμοκρασία ξεπέρασε τους 40°C». Εκτός από τη data-centric υπάρχουν και άλλες προσεγγίσεις όπως hierarchical, location-based. Παρακάτω αναφέρονται κάποια πρωτόκολλα για κάθε μια προσέγγιση.

- **Data-centric (flat-based)**

Πρωτόκολλα σε αυτή τη προσέγγιση είναι τα: directed diffusion, SPIN, GBR, CADR, COUGAR.

- **Hierarchical-based (cluster-based)**

Πρωτόκολλα σε αυτή τη προσέγγιση είναι τα: LEACH, HEAR, HPEQ, SPAN, GAF, SOP.

- **Location-based**

Πρωτόκολλα σε αυτή τη προσέγγιση είναι τα: MECN, GAF, GEAR.

4. Transport Layer

Σε αυτό το επίπεδο είναι σημαντικό να εξασφαλίζεται η επικοινωνία και η μεταφορά των δεδομένων. Με άλλα λόγια να υπάρχει end-to-end αξιοπιστία. Ορισμένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αυτό το επίπεδο είναι τα : PSFQ , DTC , Garuda , RBC .

Cross layer προσέγγιση

Ο cross layer σχεδιασμός του δικτύου μπορεί να οριστεί ως: το σπάσιμο των ιεραρχικών επιπέδων του OSI μοντέλου σε δίκτυα επικοινωνιών. Αυτή η προσέγγιση έχει πιο πολλά πλεονεκτήματα από την εφαρμογή του κλασσικού μοντέλου OSI γιατί επιτρέπει την συγχώνευση ορισμένων επιπέδων, τη δημιουργία νέων διεπαφών και παρέχει επιπλέον αλληλεξερρατήσεις μεταξύ οποιωνδήποτε δυο επιπέδων. Για παράδειγμα μπορεί να επιτραπεί η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των επιπέδων. Ορισμένα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται σε αυτή τη προσέγγιση είναι τα: AODV, DSDV, DSR.

3.4 ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

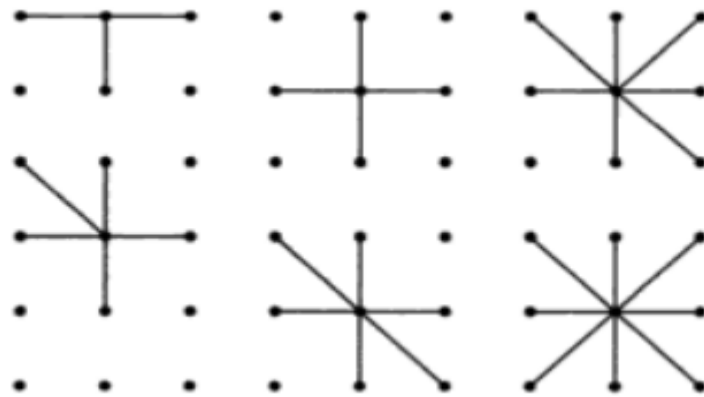
Υπάρχουν διάφορες τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής που πρόκειται να εκτελεστεί από το δίκτυο . Με άλλα λόγια , όταν για παράδειγμα πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε το WSN για εφαρμογές στη γεωργία ακριβείας (όπως στη συγκεκριμένη εργασία) , τότε δεν θα χρησιμοποιήσουμε την ίδια τοπολογία με την τοπολογία ενός δικτύου που εγκαθίσταται σε ένα κτίριο . Το ερώτημα που προκύπτει κάθε φορά είναι η επιλογή της βέλτιστης τοπολογίας . Σε κάθε περίπτωση ένας σημαντικός παράγοντας είναι ο καθορισμός του ανταγωνισμού μεταξύ των ασύρματων μέσων και των κόμβων , ο οποίος διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή που εκτελείται. Ο στόχος είναι η δημιουργία μιας τοπολογίας όχι πολύ απλής αλλά καλά δομημένης , που θα μπορεί να προβάλλει μια εμπειριστατωμένη ανάλυση του περιβάλλοντος. Παρακάτω θα επιχειρήσουμε να κάνουμε μια σύντομη περιγραφή των τοπολογιών που υπάρχουν καθώς και μια ανάλυση της τοπολογίας που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα στον αγρό και τους λόγους για τους οποίους επιλέξαμε την συγκεκριμένη τοπολογία.

- **Τοπολογία πλέγματος (grid topology)**

Οι συγκεκριμένες τοπολογίες θεωρούνται ως ένα πλέγμα , οι γραμμές του οποίου είναι οι κόμβοι που μεταδίδουν τα πακέτα και οι άκρες του πλέγματος είναι οι κόμβοι που δέχονται τα πακέτα . Σύμφωνα με αυτή την τοπολογία βρίσκεται το βέλτιστο μονοπάτι μεταξύ της πηγής (S) και του προορισμού (D) , που συνήθως είναι και το συντομότερο. Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN(m,n)) ορίζεται ως ένα $m \times n$ πλέγμα , όπου το $m \times n$ παριστάνει τον αριθμό των κόμβων του δικτύου . Κάθε κόμβος αναπαριστάται ως (y, x) $y \in 0 \leq y \leq m-1$ και $x \in 0 \leq x \leq n-1$. Για κάθε μια από τις επόμενες τοπολογίες θεωρούνται τα παρακάτω :

- ✓ $S = (y_s, x_s)$
- ✓ $D = (y_d, x_d)$
- ✓ $\Delta y = \|y_s - y_d\|$
- ✓ $\Delta x = \|x_s - x_d\|$

Κάθε δίκτυο θα ορίζεται από τον καθορισμό των γειτόνων του κάθε κόμβου σύμφωνα με τον διαφορετικό (κάθε φορά) αριθμό των γειτόνων (όπως φαίνεται και στην Εικ 3.3) και θα παρουσιάζεται ο αριθμός των αλμάτων που εκτελεί το πακέτο από την πηγή προς τον προορισμό. Στη συνέχεια καθορίζεται αν δύο κόμβοι είναι γειτονικοί από τον αριθμό των αλμάτων (hops) που εκτελεί το πακέτο.



Εικ. 3.3 Πιθανός αριθμός γειτόνων

• 3– Γειτόνων WSN

→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν ισχύουν τα παρακάτω :

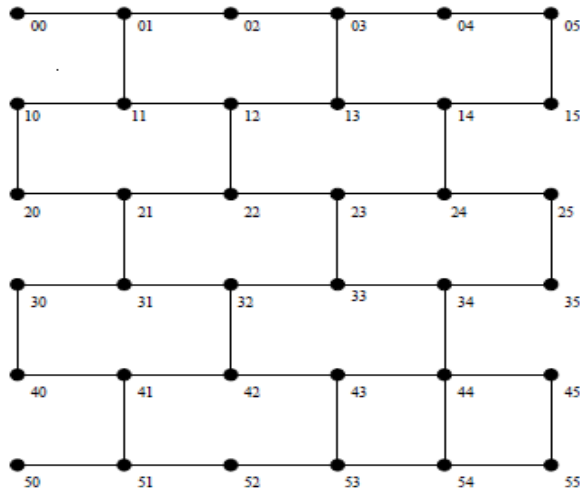
$\langle (y, x), (y, x + 1) \rangle$ για $x < n - 1$

$\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$ για ζυγό (y, x) και $y < m - 1$

→ Δύο κόμβοι δεν είναι γειτονικοί εάν :

$\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$ για μονό (y, x) και $y < m - 1$

$$\text{Ο βέλτιστος αριθμός αλμάτων (S,D)} = \begin{cases} \Delta x + \Delta y & , \text{ εάν } \Delta x \geq \Delta y \\ 2 \Delta y \pm 1 & , \text{ εάν } \Delta x < \Delta y \end{cases}$$



Εικ. 3.4 Γράφημα WSN με 3 γείτονες

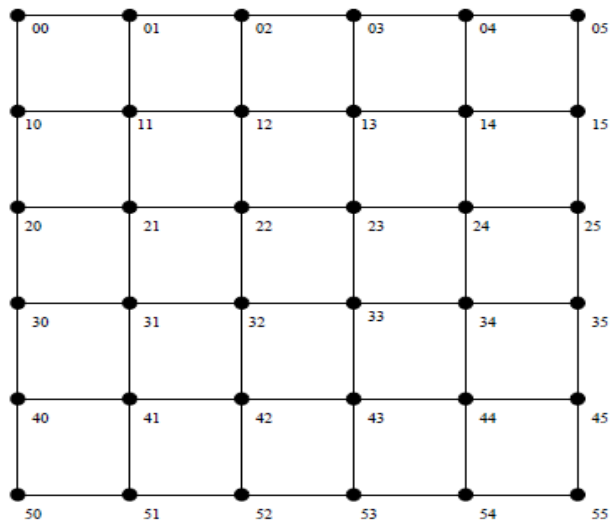
• 4– Γειτόνων WSN

→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν :

$\langle (y, x), (y, x + 1) \rangle$ για $x < n - 1$

$\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$ για $y < m - 1$

Βέλτιστος αριθμός αλμάτων $(S,D) = \Delta x + \Delta y$



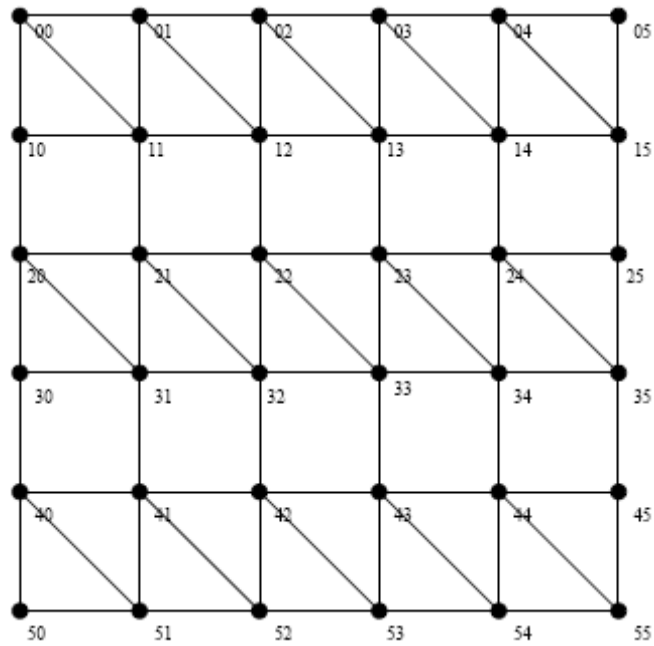
Εικ. 3.5 Γράφημα WSN με 4 γείτονες

• 5 – Γειτόνων WSN

→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν :

- $\langle (y, x), (y, x + 1) \rangle$ για $x < n - 1$
- $\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$ για $y < m - 1$
- $\langle (y, x), (y + 1, x + 1) \rangle$ για ζυγό x
- $\langle (y, x), (y - 1, x - 1) \rangle$ για μονό x

$$\rightarrow \text{Βέλτιστος αριθμός αλμάτων } (S,D) = \begin{cases} \Delta x + 2 & , \text{ εάν } x_s \geq x_d \text{ και } y_s > y_d \\ \quad \quad \quad \text{ή } x_s \leq x_d \text{ και } y_s < y_d \\ \Delta x + \Delta y & , \text{ αλλιώς} \end{cases}$$



Εικ. 3.6 Γράφημα WSN με 5 γείτονες

• 6 – Γειτόνων WSN

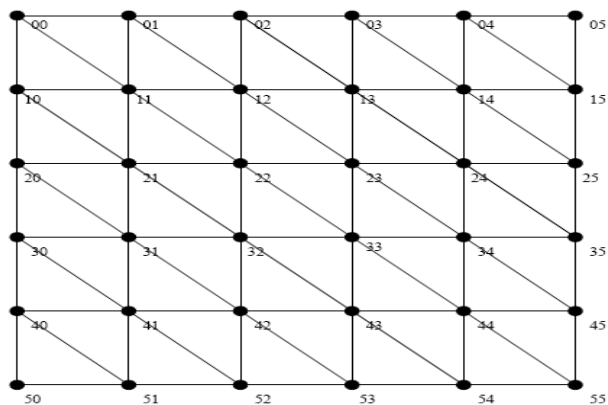
→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν :

$\langle y, x \rangle, \langle y, x + 1 \rangle$ για $x < n - 1$

$\langle y, x \rangle, \langle y + 1, x \rangle$ για $y < m - 1$

$\langle y, x \rangle, \langle y + 1, x + 1 \rangle$ για κάθε $y < y + 1$ και $x < x + 1$

$\langle y, x \rangle, \langle y - 1, x - 1 \rangle$ για κάθε $y > y - 1$ και $x > x - 1$

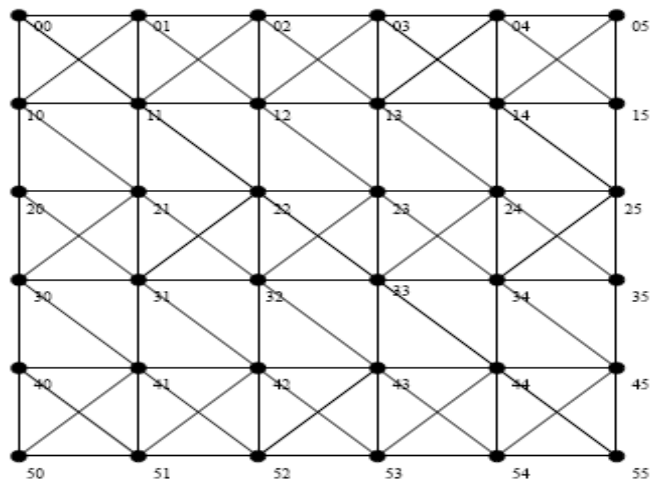


Εικ. 3.7 Γράφημα WSN με 6 γείτονες

• 7 – Γειτόνων WSN

→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν :

- $\langle (y, x), (y, x + 1) \rangle$ για $x < n - 1$
- $\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$ για $y < m - 1$
- $\langle (y, x), (y + 1, x - 1) \rangle$ για $x = 0$ ή για ζυγό x
- $\langle (y, x), (y - 1, x + 1) \rangle$ για $x = 1$ ή για μονό x
- $\langle (y, x), (y + 1, x + 1) \rangle$ για κάθε $y < y + 1$ και $x < x + 1$
- $\langle (y, x), (y - 1, x - 1) \rangle$ για κάθε $y < y - 1$ και $x < x - 1$



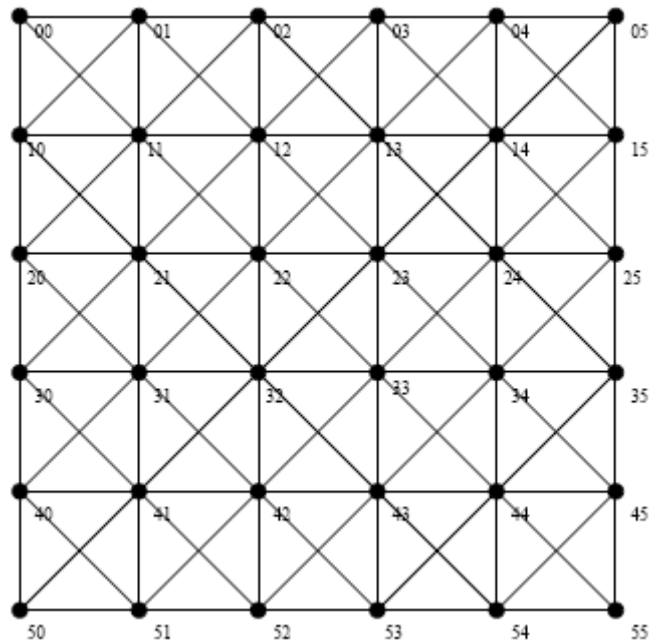
Εικ. 3.8 Γράφημα WSN με 7 γείτονες

• 8 – Γειτόνων WSN

→ Δύο κόμβοι είναι γειτονικοί εάν :

- $\langle (y, x), (y, x + 1) \rangle$
- $\langle (y, x), (y + 1, x) \rangle$
- $\langle (y, x), (y + 1, x - 1) \rangle$
- $\langle (y, x), (y - 1, x + 1) \rangle$
- $\langle (y, x), (y + 1, x + 1) \rangle$
- $\langle (y, x), (y - 1, x - 1) \rangle$

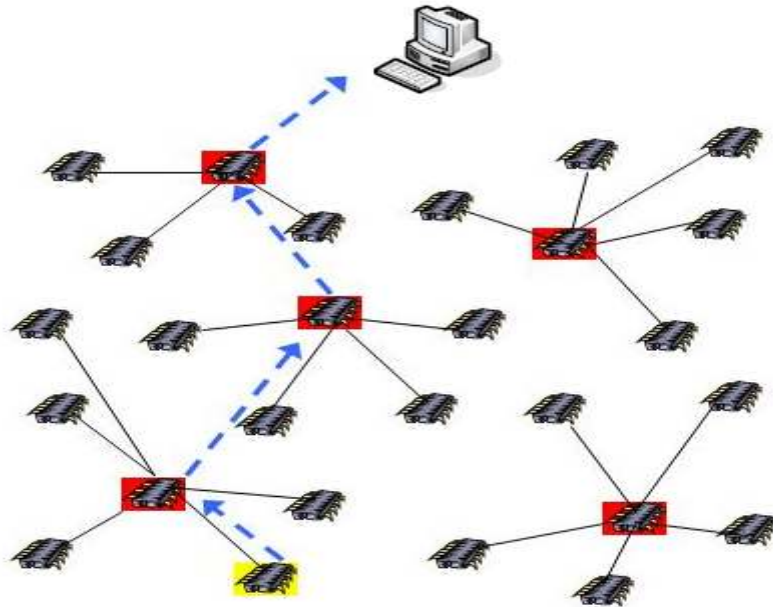
→ Βέλτιστος αριθμός αλμάτων $(S,D) = \max(\Delta x, \Delta y)$



Εικ. 3.9 Γράφημα WSN με 8 γείτονες

• Τοπολογία συστάδων (clusters)

Στη συγκεκριμένη τοπολογία δε χρησιμοποιείται πλέγμα αλλά οι κόμβοι του δικτύου χωρίζονται σε ομάδες (συστάδες) , επικοινωνούν με τους γειτονικούς που ανήκουν στην ίδια συστάδα (για κάθε συστάδα) , στέλνουν όλοι τα δεδομένα σε ένα κόμβο «συλλέκτη» (sink node) , ο οποίος είναι υπεύθυνος για την περαιτέρω προώθησή τους στο δίκτυο ή σε κάποιο υπολογιστή ή τερματικό σταθμό. Συνήθως οι τοπολογίες που βασίζονται σε συστάδες (cluster – based topology) δεν βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις πληροφορίες τοποθεσίας του κάθε κόμβου αλλά σε άλλα χρήσιμα χαρακτηριστικά σύνδεσης όπως π.χ. η ποιότητα της σύνδεσης , η αμεσότητα των γειτονικών κόμβων , η μείωση του πλήθους των κόμβων του δικτύου , που έχει ως συνέπεια την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για όλο το δίκτυο συνολικά. Σε αυτές τις τοπολογίες , οι κόμβοι «συλλέκτες» (sink nodes) καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια αφού αποτελούν το μέσο για τη μετακίνηση της πληροφορίας προς το υπόλοιπο δίκτυο ή σε άλλους προορισμούς. Για την επικοινωνία των κόμβων που ανήκουν στην ίδια συστάδα , οι κόμβοι που ανήκουν σε αυτή , μειώνουν την ενέργεια μετάδοσης και μεταδίδουν τα δεδομένα μέσω ενός άλματος (single - hop) στους γειτονικούς τους.

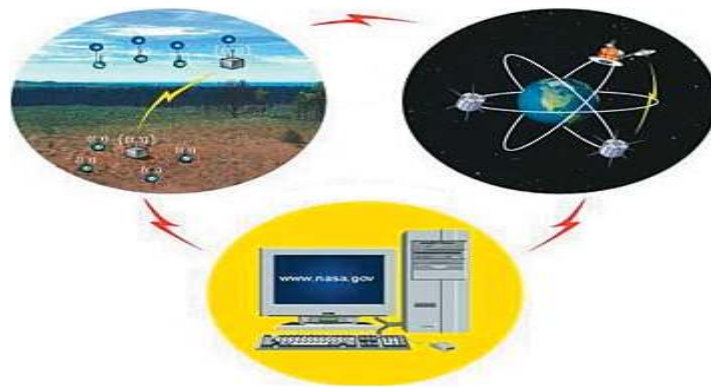


Εικ. 3.10 Τοπολογία συστάδων (cluster – based approach)

- **Sensor Web**

Ο τύπος WSN που ονομάζεται sensor web είναι ένας ειδικός τύπος δικτύου αισθητήρων ή συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) που ενδείκνυται για εφαρμογές παρακολούθησης και ελέγχου του περιβάλλοντος. Με τον όρο sensor web εννοούμε ένα άμορφο δίκτυο από αισθητήρες που είναι καταναμημένα τοποθετημένοι στο χώρο και επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Αυτή η άμορφη αρχιτεκτονική είναι μοναδική αφού είναι τόσο σύγχρονη όσο και ανεξάρτητη από δρομολογητές (router – free), διαχωρίζοντας τέτοιου είδους δίκτυα από άλλα TCP/IP δίκτυα. Επίσης η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική επιτρέπει σε κάθε στιγμή να ξέρει τι συμβαίνει στους άλλους κόμβους του δικτύου σε κάθε κύκλο μέτρησης. Η επικοινωνία των κόμβων μεταξύ τους είναι αμφίδρομη, πράγμα που σημαίνει ότι ο κάθε κόμβος μπορεί να στέλνει δεδομένα προς τους υπόλοιπους αλλά ταυτόχρονα να δέχεται και από όλους τους άλλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μερικές φορές να δημιουργείται σύγχυση δεδομένων στο δίκτυο (on-the-fly fusion), και μπορεί να μεταφράζεται ως εσφαλμένη θετική αυθεντικοποίηση των κόμβων, και το δίκτυο θα πρέπει να αυτό οργανώνεται για να περιέχει κάθε φορά τις σωστές πληροφορίες. Το σημαντικό με το sensor web είναι ότι οι κόμβοι και τα δεδομένα τους είναι προσβάσιμα μέσω του διαδικτύου. Έτσι ανά πάσα στιγμή μπορεί ο χρήστης του δικτύου να ενημερώνεται

για τυχόν αλλαγές που συμβαίνουν σε αυτό αλλά και επεμβαίνει δίνοντας εντολές για κάποια συγκεκριμένη λειτουργία στους κόμβους. Για την επικοινωνία των κόμβων με το διαδίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθούν εφαρμογές και εργασίες από το OGC (Open Geospatial Consortium). Σε αυτή τη περίπτωση απαιτείται μια πύλη διαδικτύου (internet gateway) που θα συνδέεται ασύρματα με όλους τους κόμβους. Στην OGC αρχιτεκτονική είναι πολύ διαφορετική από ένα κλασσικό sensor web και απαιτεί συγκεκριμένα πρωτόκολλα και σχήματα έτσι ώστε να επικοινωνούν οι βάσεις δεδομένων μεταξύ τους, όπως για παράδειγμα χρησιμοποιείται το TCP/IP για να μπορέσουν διαφορετικά τμήματα hardware να επικοινωνούν με διαφορετικές υπολογιστικές πλατφόρμες.

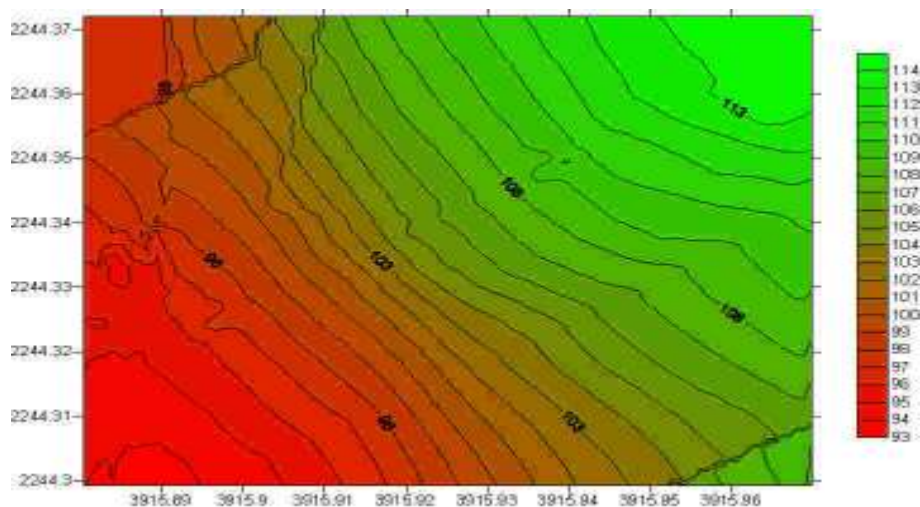


Εικ. 3.11 Sensor Web

- **Τοπολογία βασισμένη σε ζώνες διαχείρισης**

Η τοπολογία αυτή βασίζεται στις ζώνες διαχείρισης του εδάφους καθώς και σε ζώνες ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ήταν το πρώτο στάδιο του πειράματος μας. Η προσέγγιση αυτή πρωτοεφαρμόστηκε στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας κατά τη διάρκεια του παρόντος project που αφορά την γεωργία ακριβείας. Στη συνέχεια ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή της συγκεκριμένης μεθόδου καθώς ο τρόπος με τον οποίο γίνεται ο διαχωρισμός του εδάφους σε ζώνες διαχείρισης έχει αναλυθεί λεπτομερώς στο κεφάλαιο της εργασίας που αφορά τη γεωργία ακριβείας. Στα πειράματα που διεξήχθησαν για αυτή την εργασία, για τη βελτιστοποίηση της τοπολογίας του WSN σε αμπέλι, χρησιμοποιήσαμε τη προσέγγιση των ζωνών διαχείρισης γιατί συγκρίνοντάς την με τις υπόλοιπες τοπολογίες ήταν η πιο συμφέρουσα από άποψη

εξοικονόμησης ενέργειας , κόστος αγοράς και τοποθέτησης των ασύρματων κόμβων καθώς και παραγωγής αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Οι ζώνες διαχείρισης , όπως φαίνονται στην εικόνα 3.12, είναι κάποια συγκεκριμένα τμήματα του χωραφιού που παρουσιάζουν μεταβλητότητα όσον αφορά τη ποιότητα του εδάφους , την υγρασία , τη περιεκτικότητα σε συγκεκριμένα άλατα και ουσίες και την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας . Για να είναι επιτυχημένη αυτή η μέθοδος πρέπει να γίνει σαφής διαχωρισμός των ζωνών του αγρού.

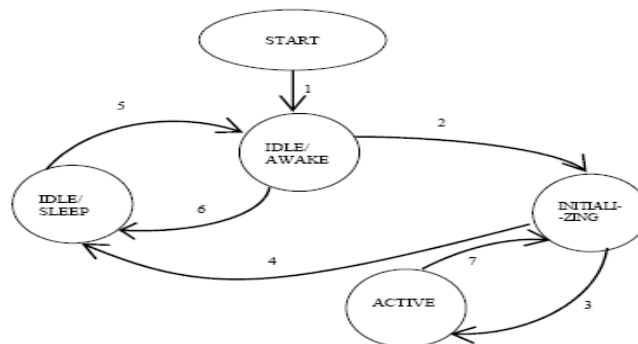


Εικ. 3.12 Διαχωρισμός του εδάφους σε ζώνες διαχείρισης

Καταρχήν σε αυτή την προσέγγιση χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι όπως το GPS (Global Positioning System) και το GIS (Geographic Information System). Στη συνέχεια γίνεται μια σάρωση του εδάφους του αγρού με κάποιο σύστημα , όπως για παράδειγμα το Veris 3100 και με τη βοήθεια του GIS οι περιοχές με παρόμοια χαρακτηριστικά μπορούν να ταξινομηθούν. Ακόμη η τοποθέτηση των κόμβων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μην περιορίζεται η επικοινωνία λόγω φυσικών εμποδίων ή παρεμβολών . Για να μπορέσουμε να εγγραφήσουμε πλήρη κάλυψη όλου του χώρου πρέπει να τοποθετηθεί τουλάχιστον ένας αισθητήρας σε κάθε ζώνη. Έτσι τα δεδομένα μέσω δρομολόγησης πολλών δρόμων (multi – hop) καταλήγουν σε μια πύλη (Gateway) και στη συνέχεια μπορούν να αποθηκευθούν σε μια βάση δεδομένων ή να προωθηθούν και στο διαδίκτυο. Ένα εξαιρετικά σημαντικό πλεονέκτημα που έχει η προσέγγιση αυτή σε σύγκριση με τις προηγούμενες είναι ότι

μειώνεται σημαντικά η πυκνότητα του δικτύου μας καθώς σε κάθε ζώνη είναι απαραίτητος μόνο ένας κόμβος , εφόσον οι γειτονικοί του (τουλάχιστον δύο) βρίσκονται εντός εμβέλειας και μπορούν να επικοινωνούν ασύρματα μεταξύ τους. Βέβαια υπάρχει ο κίνδυνος αν ο κόμβος βρεθεί εκτός λειτουργίας τότε το δίκτυο δε θα μπορεί να συλλέξει δεδομένα από τη συγκεκριμένη ζώνη και τα συνολικά αποτελέσματα που θα παράγει το δίκτυο θα παρουσιάζουν κάποια απόκλιση σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα.

Κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης του δικτύου , κάθε κόμβος μεταδίδει ένα μοναδικό αναγνωριστικό κόμβου/ζώνης (node/zone ID) , το οποίο του το έχει αναθέσει το δίκτυο με τη βοήθεια ενός προκαθορισμένου συστήματος συντεταγμένων της περιοχής. Χρησιμοποιώντας ένα δείκτη μέτρησης της ισχύς του σήματος (π.χ. RSSI) κάθε κόμβος επιλέγει τους γειτονικούς κόμβους άλλων ζωνών. Έτσι σχηματίζεται ο γράφος ροής των πληροφοριών και για κάθε δεδομένο το δίκτυο επιλέγει το ελάχιστο μονοπάτι (σε σχέση με την ενέργεια που καταναλώνεται) προς μετάδοση των πληροφοριών. Οι κόμβοι «ξυπνούν» περιοδικά και κάνουν αναβάθμιση των πληροφοριών τους . Αν ένας κόμβος είναι ενεργός και δεν έχει δεχθεί κάποια πληροφορία τότε μεταβαίνει σε λειτουργία νάρκης. Στην εικόνα 3.15 φαίνονται λεπτομερώς όλες οι λειτουργίες που εκτελούν οι κόμβοι του δικτύου κάθε στιγμή. Στην κατάσταση START γίνεται η αρχικοποίηση του δικτύου και ο εντοπισμός των ενεργών κόμβων.



Εικ. 3.15 Διάγραμμα καταστάσεων της τοπολογίας βασισμένης σε Ζώνες Διαχείρισης

Όταν ο κόμβος βρίσκεται στην κατάσταση ACTIVE τότε όλες οι λειτουργίες του είναι ενεργές. Όταν βρίσκεται στην κατάσταση AWAKE , μόνο η λειτουργία RF (ασύρματη επικοινωνία) είναι ενεργή. Όταν βρίσκεται στη κατάσταση SLEEP τότε για τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή είναι ανενεργός.

4 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ PROJECT – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ



4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθεί η εφαρμογή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων στη γεωργία ακριβείας και συγκεκριμένα σε αγρό παραγωγής σταφυλιών. Οι αισθητήρες που τοποθετήθηκαν προγραμματίστηκαν κατάλληλα και χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας του εδάφους και της υγρασίας του αέρα. Τα δεδομένα και οι μετρήσεις των αισθητήρων θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά, τόσο για τη βελτίωση της παραγωγής και της σοδειάς

στις καλλιέργειες αλλά και θα αποτελέσουν τη βάση για τη μελέτη και τη κατασκευή αλγορίθμων προσομοίωσης του ασύρματου δικτύου αισθητήρων για τη δυναμική βελτίωση και του ίδιου του δικτύου αλλά και για τη χρήση των αισθητήρων σε μεγαλύτερες εφαρμογές καταναμημένων υπολογιστικών συστημάτων.

4.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι Tmote Sky Ultra Low power IEE 802.15.4 όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.1. Για τον προγραμματισμό των αισθητήρων χρησιμοποιήθηκαν τα εξής :

- 1) TinyOS
- 2) Java

Στη γλώσσα TinyOS προγραμματίστηκαν οι αισθητήρες και δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες συναρτήσεις έτσι ώστε ο εκάστοτε αισθητήρες να παίρνει και να αποθηκεύει τις κατάλληλες μετρήσεις όπως υγρασία, θερμοκρασία και ηλιακή ακτινοβολία. Κατά την προετοιμασία των αισθητήρων για την τοποθέτησή τους στον αγρό έπρεπε να μελετηθεί ένας είδος « κελυφους » μέσα στο οποίο θα τοποθετούνταν η πλακέτα που περιείχε τα αισθητήρια όργανα και θα ήταν προφυλαγμένη από καιρικά φαινόμενα όπως αέρας και βροχή που θα μπορούσαν να προκαλέσουν κάποια βλάβη στη λειτουργία της.



Εικ. 4.1 Ο αισθητήρας Tmote Sky Ultra Low power

Έτσι χρησιμοποιήθηκαν στρογγυλοί σωλήνες PVC οι οποίοι θα προστάτευαν την πλακέτα χωρίς παράλληλα να αλλοιώνουν τις μετρήσεις των αισθητήρων. Το μοναδικό μειονέκτημα ήταν ότι έπρεπε να προστατευτεί από την υγρασία και κάποιες πιθανές βροχές χωρίς παράλληλα να είναι κάπου τοποθετημένη χωρίς να ανακυκλώνεται έστω και ελάχιστα ο αέρας γιατί αυτό θα προκαλούσε αύξηση της θερμοκρασίας της πλακέτας που είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας και υπήρχε περίπτωση να προκαλούσε κάποια βλάβη ή δυσλειτουργία και να σταματούσε να εκπέμπει τις μετρήσεις στο υπόλοιπο δίκτυο . Το πρόβλημα αυτό λύθηκε με τη χρήση τετραγωνικών ψάθινων κουτιών μέσα στα οποία τοποθετούνταν η PVC σωλήνα μέσα στην οποία ήταν τοποθετημένη η πλακέτα που ήταν συνδεδεμένοι οι αισθητήρες , όπως φαίνεται και στην Εικ. 4.2 .



Εικ. 4.2 Καλύμματα της πλακέτας του αισθητήρα

Το project περιελάμβανε τη δημιουργία του δικτύου αισθητήρων που θα κάλυπτε όλο τον αγρό με βάση τις ζώνες διαχείρισης. Οι ζώνες διαχείρισης δημιουργήθηκαν (όπως έχει προαναφερθεί στο 1^ο κεφάλαιο) με τη χρήση GPS , τη βοήθεια του GIS και τη χρήση κατάλληλου εργαλείου μέτρησης των επιπέδων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού. Η δημιουργία του ανάγλυφου του αμπελώνα έγινε με τη χρήση υψηλής ακρίβειας δέκτη GPS. Στο δεύτερο στάδιο του πειράματος έγινε η χαρτογράφηση της χαρτογράφησης του εδάφους του αμπελώνα. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δειγματοληψία του εδάφους και με βάση τη μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγινε ο διαχωρισμός του αγρού σε τρεις διαφοροποιημένες ζώνες. Αφού καθορίστηκαν οι ζώνες διαχείρισης του αμπελιού τοποθετήθηκαν οι πλακέτες με τους αισθητήρες πάνω σε μεταλλικούς πασσάλους. Η χρήση των πασσάλων έγινε για να μην εμποδίζουν οι αισθητήρες τον αγρότη κατά τη διάρκεια των εργασιών του στο αμπέλι αλλά και για να μην υποστούν ζημιές οι πλακέτες από τα γεωργικά μηχανήματα κατά τη διάρκεια της συγκομιδής της σοδειάς (Εικ. 4.3).

Επιπλέον έπρεπε να τηρηθούν κάποιες συγκεκριμένες αποστάσεις μεταξύ της κάθε πλακέτας έτσι ώστε να είναι δυνατή η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των γειτονικών αισθητήρων και η ανταλλαγή δεδομένων. Ο αισθητήρας μέτρησης της υγρασίας του εδάφους τοποθετήθηκε σε βάθος περίπου 20 εκατοστά στο χώμα δίπλα ακριβώς από το κλωνάρι που άνθιζαν τα σταφύλια.



Εικ. 4.3 Τοποθέτηση των αισθητήρων

4.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Το επόμενο στάδιο του project είναι η τοποθέτηση των αισθητήρων με τέτοιο τρόπο ώστε να επικοινωνούν μεταξύ τους οι γειτονικοί και με αυτό τον τρόπο να δημιουργηθεί ένα δίκτυο επικοινωνίας στο οποίο θα μεταφέρονται οι μετρήσεις και θα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων στον υπολογιστή για περαιτέρω επεξεργασία. Υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι για τη δημιουργία τοπολογίας ενός στατικού ή δυναμικού δικτύου αισθητήρων. Εμείς βασιστήκαμε στις ζώνες διαχείρισης και τοποθετήσαμε τουλάχιστον έναν αισθητήρα για να καλύπτει κάθε

ζώνη και να βρίσκεται εντός της εμβέλειας των γειτονικών έτσι ώστε να μπορούν να ανταλλάσουν δεδομένα μεταξύ τους. Επίσης χρησιμοποιήσαμε έναν υπολογιστή στον οποίο αποθηκεύονταν σε μια βάση δεδομένων οι μετρήσεις των αισθητήρων. Μεταξύ του δικτύου και του υπολογιστή τοποθετήθηκε ένας ακόμα αισθητήρας ο οποίος έπαιζε το ρόλο της «καταβόθρας» του δικτύου (sink sensor) από τον οποίο πέρασαν όλες οι μετρήσεις του δικτύου και αυτός τις έστειλε στον υπολογιστή για αποθήκευση στη βάση δεδομένων. Ο υπολογιστής ήταν τοποθετημένος κάτω από στέγαστρο για την προφύλαξή του από καιρικά φαινόμενα όπως υγρασία και βροχή αλλά και για προφύλαξη από τυχόν κλοπή. Επίσης υπήρχε η σκέψη για την εγκατάσταση ενός access point μέσω μιας συσκευής από κάποια τηλεφωνική εταιρεία έτσι ώστε να μπορεί να υπάρχει πρόσβαση στη βάση δεδομένων του υπολογιστή και μέσω internet. Τέλος μπορούμε να πούμε ότι δημιουργήσαμε ένα δυναμικό ασύρματο δίκτυο με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ανοχή στη ροή πληροφορίας. Δηλαδή σε περίπτωση που καταστραφεί ένας κόμβος να μπορούν να μεταφερθούν τα δεδομένα από διαφορετική διαδρομή και όσο αυτό είναι δυνατόν να μην αποκοπεί κανένα κομμάτι του δικτύου λόγω της βλάβης. Επίσης το δίκτυο που δημιουργήθηκε θα μπορεί να επεκταθεί με την εγκατάσταση επιπλέον αισθητήρων χωρίς καμία δυσκολία αρκεί οι αισθητήρες αυτοί να βρίσκονται εντός της εμβέλειας εκπομπής των γειτονικών τους.

4.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Σε αυτή τη παράγραφο θα παραθέσουμε ένα δείγμα των μετρήσεων των αισθητήρων που αποθηκεύονταν στη βάση δεδομένων του υπολογιστή καθώς και θα αναλύσουμε τη φυσική σημασία των διάφορων μεγεθών που μετρούνταν. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αισθητήρες τροφοδοτούνταν με μπαταρίες τύπου AA. Αρχικά ο κάθε αισθητήρας ήταν προγραμματισμένος να βρίσκεται όλη την ώρα ενεργός και να παίρνει μετρήσεις κάθε 5 λεπτά περίπου. Αυτό όμως ήταν ενεργειακά ασύμφορο γιατί καταναλωνόταν αρκετή ενέργεια από τις μπαταρίες άσκοπα με συνέπεια να αδειάζουν αρκετά γρήγορα, ενώ η ποιότητα των τόσο πολλών μετρήσεων δεν ήταν καλή και ο όγκος των δεδομένων της βάσης αυξανόταν πολύ γρήγορα. Έτσι επαναπρογραμματίστηκαν οι αισθητήρες για να μένουν ανενεργοί (κλειστοί) για κάποιο χρονικό διάστημα και να αφυπνίζονται κάθε 15 λεπτά περίπου για να παίρνουν τις μετρήσεις και να τις αποθηκεύουν.

Όπως έχει προαναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο ο αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή της παρούσας ερευνητικής εργασίας είναι ο motein Tmote Sky. Οι μετρήσεις και κάποιες άλλες πληροφορίες για τον εκάστοτε αισθητήρα, έφταναν στον υπολογιστή μέσω του ad – hoc δικτύου και

αποθηκεύονται στη βάση δεδομένων . Κάθε πακέτο περιείχε τις παρακάτω πληροφορίες :

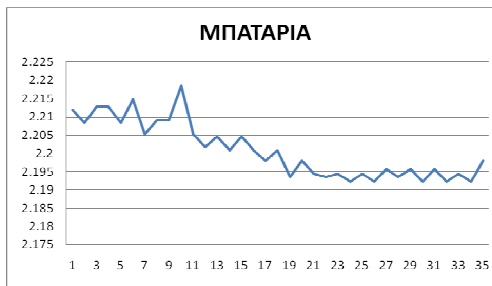
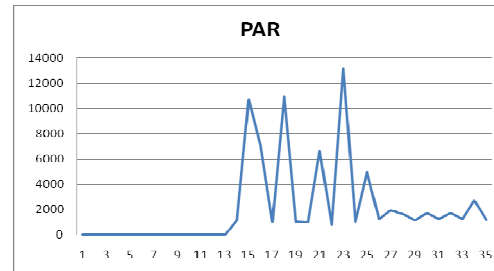
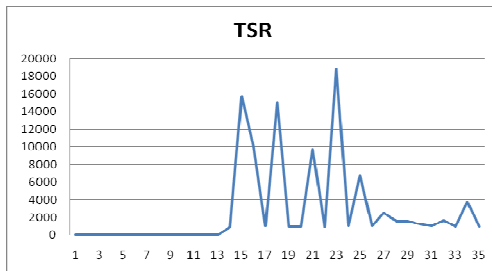
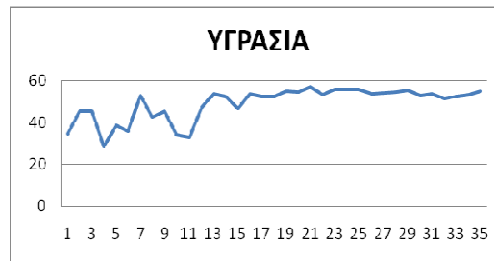
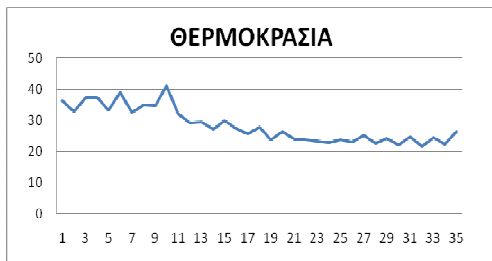
- **Ημερομηνία και ώρα λήψης** των μετρήσεων. Οι αισθητήρες ήταν σε λειτουργία αδρανοποίησης (sleep mode) για να αποφευχθεί η υπερβολική κατανάλωση της ενέργειας των μπαταριών . Κάθε 15 λεπτά περίπου ο αισθητήρας αφυπνιζόταν (wake-up mode) έπαιρνε τις μετρήσεις και επανερχόταν σε sleep mode .
- **Αριθμός κόμβου** . Κάθε αισθητήρας – κόμβος του ασύρματου δικτύου έχει ένα συγκεκριμένο αριθμό – ετικέτα και περιέχεται στο πακέτο δεδομένων που στέλνονται στον υπολογιστή για αποθήκευση στη βάση δεδομένων. Αυτό γίνεται για να μπορεί ο διαχειριστής του δικτύου , κατά τη φάση της επεξεργασίας των δεδομένων , να μπορεί να αναλύσει τις μετρήσεις του κάθε κόμβου και να ξέρει σε ποια ζώνη διαχείρισης του αγρού αναφέρεται ο κάθε αισθητήρας. Επίσης ένας άλλος λόγος για τον οποίο γίνεται αυτή η ετικετοποίηση , είναι σε περίπτωση βλάβης να είναι πιο εύκολη η αναγνώριση της βλάβης και η διόρθωσή της και όχι να ελέγχονται όλοι οι αισθητήρες μέχρι να βρεθεί αυτός που δεν λειτουργεί σωστά.
- **Αριθμός πακέτου** . Όλες οι πληροφορίες του κάθε κόμβου του δικτύου στέλνονται στον υπολογιστή με τη μορφή πακέτου . Κατά τη διάρκεια της μέρας , όταν ο κόμβος είναι ενεργός και παίρνει μετρήσεις , μπορεί να στείλει περισσότερα του ενός πακέτα . Δηλαδή για κάθε φορά που παίρνει μετρήσεις στέλνει και ένα πακέτο στον υπολογιστή με τις πληροφορίες προς αποθήκευση .
- **Θερμοκρασία** . Σε κάθε πακέτο που στέλνεται υπάρχει και μια μέτρηση που αναφέρεται στην τιμή της θερμοκρασίας που έχει το περιβάλλον στο σημείο όπου είναι τοποθετημένος ο αισθητήρας .
- **Υγρασία** . Η μέτρηση αυτή αναφέρεται στη τιμή της υγρασίας του αέρα . Υπάρχει η συγκεκριμένη μέτρηση γιατί είναι σημαντική πληροφορία σε ορισμένες καλλιέργειες γιατί αν η τιμή της θερμοκρασίας του αέρα και της

υγρασίας είναι ίδια τότε αναπτύσσεται ένα μικρόβιο που μπορεί να καταστρέψει τη σοδειά.

- ***TSR (Total Solar Radiation)*** . Η συγκεκριμένη μέτρηση αναφέρεται στην τιμή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας . Είναι μέγεθος πολύ σημαντικό όταν αναφερόμαστε σε καλλιέργειες.
- ***PAR (Photosynthetically Active Radiation)*** . Η μέτρηση αυτή αναφέρεται στην ακτινοβολία που λαμβάνει το φυτό και μπορεί να τη χρησιμοποιήσει για να φωτοσυνθέσει και να αναπτυχθεί. Άλλο ένα σημαντικό μέγεθος για τη σοδειά και την καλλιέργεια.
- ***Υγρασία εδάφους*** . Για αυτή τη μέτρηση χρησιμοποιείται ο αισθητήρας , ο οποίος έχει τοποθετηθεί περίπου 20 εκατοστά μέσα στο έδαφος , κοντά στο κορμό του φυτού και μετρά την υγρασία του εδάφους. Αυτή η μέτρηση είναι πολύ σημαντική γιατί μας δίνει πληροφορίες για το αν το φυτό ποτίζεται επαρκώς και βοηθά στην εξοικονόμηση της κατανάλωσης νερού στην καλλιέργεια γενικά.
- ***Μπαταρία*** . Η τιμή αυτή αναφέρεται στην ποσότητα της μπαταρίας που είναι ακόμη διαθέσιμη για κατανάλωση .

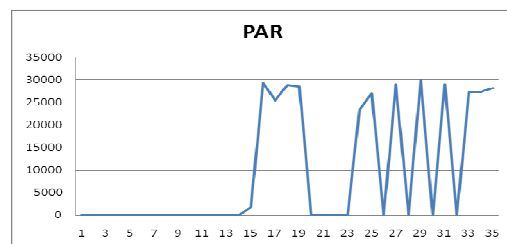
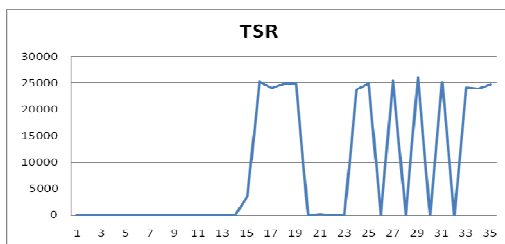
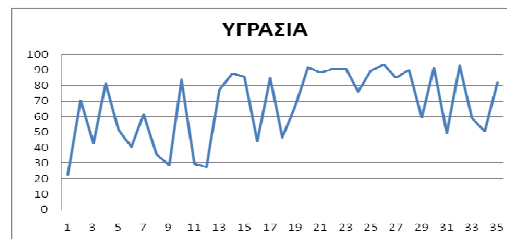
Στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.4) υπάρχει ένα παράδειγμα για τον τρόπο με τον οποίο αποθηκεύονταν τα δεδομένα στη βάση δεδομένων του υπολογιστή . Λόγω του όγκου της βάσης έχουν επιλεγεί τυχαία μετρήσεις μιας συγκεκριμένης ημερομηνίας .

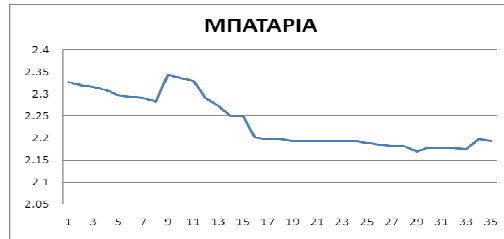
- Κόμβος 1



Εικ. 4.5 Γραφήματα 1^ο κόμβου

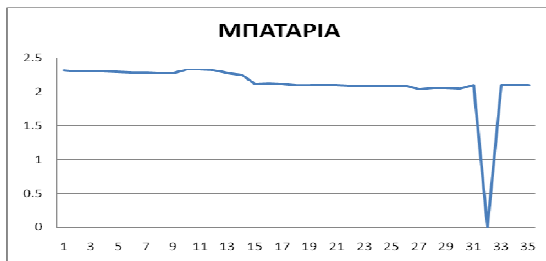
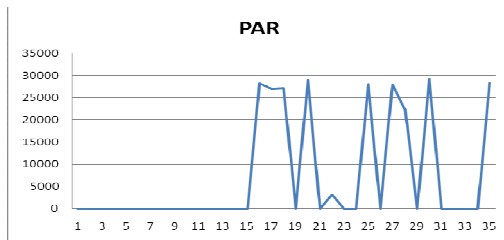
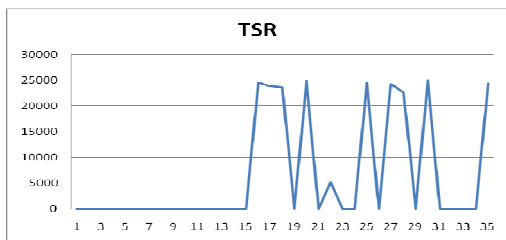
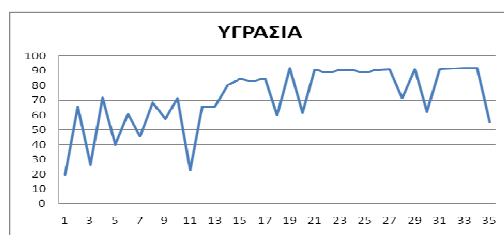
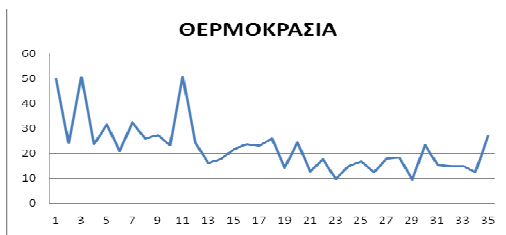
- Κόμβος 2





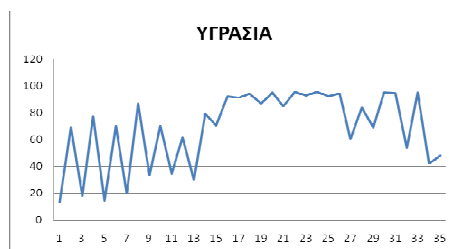
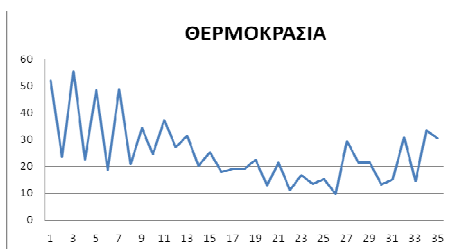
Εικ. 4.6 Γραφήματα 2^ο κόμβου

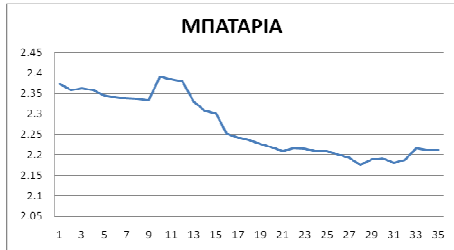
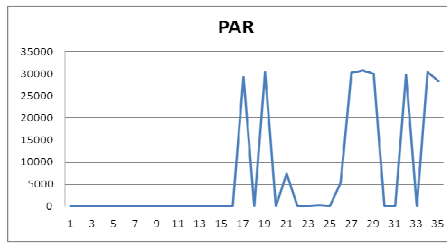
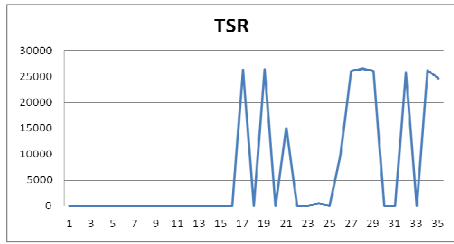
• Κόμβος 3



Εικ. 4.7 Γραφήματα 3^ο κόμβου

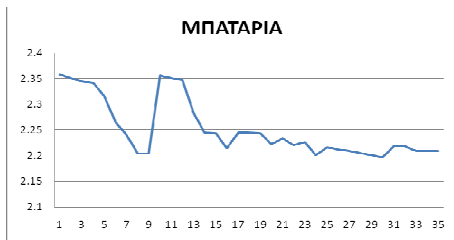
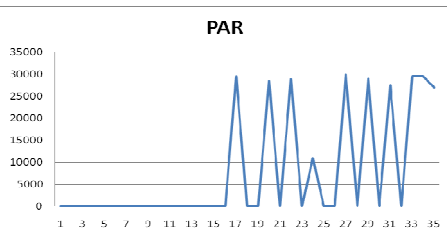
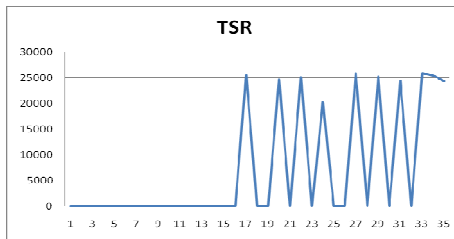
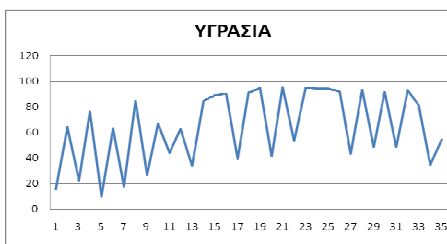
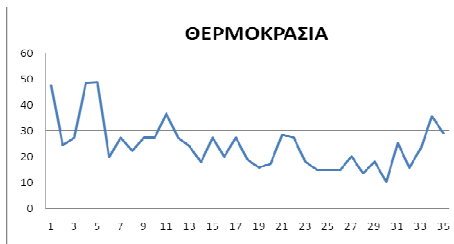
• Κόμβος 4





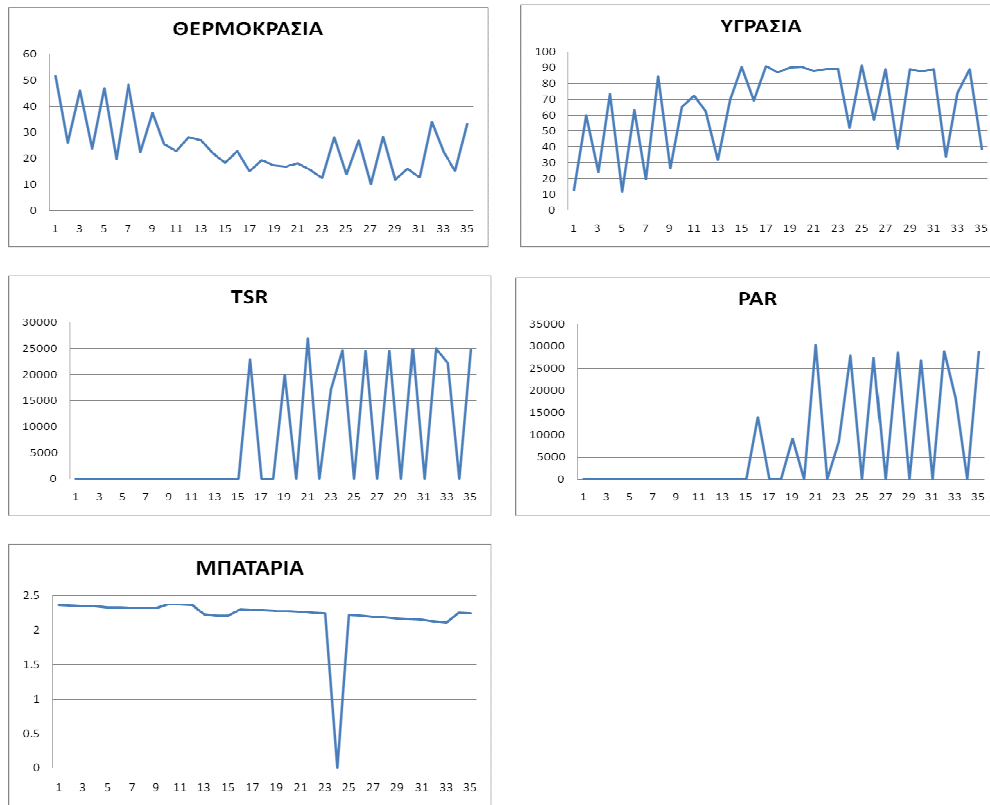
Εικ. 4.8 Γραφήματα 4^ο κόμβου

- Κόμβος 5



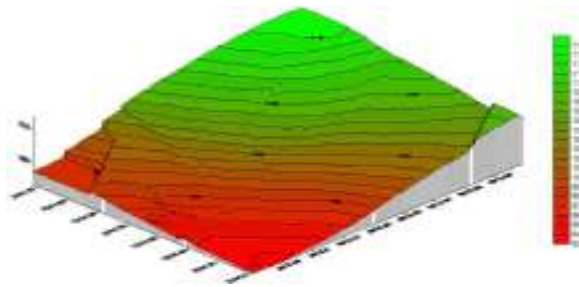
Εικ. 4.9 Γραφήματα 5^ο κόμβου

- Κόμβος 6



Εικ. 4.10 Γραφήματα 6^{ου} κόμβου

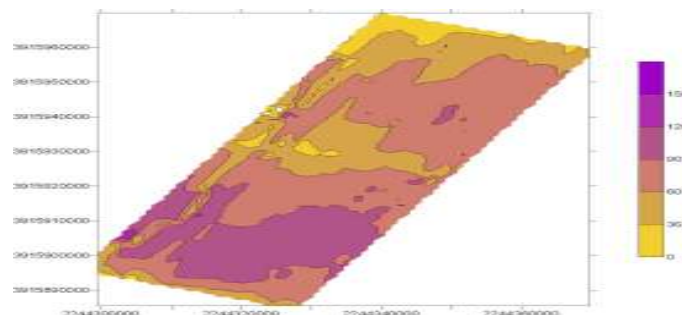
Καταρχήν παρατηρώντας το τρισδιάστατο ανάγλυφο του αμπελώνα , που το δημιουργήσαμε με τη βοήθεια του GPS εργαλείου διαπιστώνουμε ότι το έδαφος έχει κλίση με τιμή περίπου 14%(Εικ. 4.11).Το γεγονός αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση του νερού άδρευσης κα πρέπει να ληφθεί υπ'όψη αν θέλουμε να εξοικονομήσουμε τη ποσότητα του νερού που χρησιμοποιούμε για άδρευση της καλλιέργειας.Σε θέσεις με μεγάλη κλίση αναμένουμε μικρότερη συγκράτηση νερού,άρα θα επηρεάζονται οι τιμές της εδαφικής υγρασίας και οι μετρήσεις των αισθητήρων σε αυτή τη περιοχή.Σε αντίθετη περίπτωση,στα μέρη όπου η κλίση του εδάφους είναι αρκετά μικρότερη ,οι απαιτήσεις του αγρού για νερό είναι μικρότερες γιατί εκεί η υπάρχει συγκράτηση μεγαλύτερης ποσότητας νερού.Πράγμα που το επιβεβαιώνουν και οι τιμές του αισθητήρα μέτρησης της υγρασίας εδάφους στα σημεία εκείνα.



Εικ. 4.11 3D ανάγλυφο του εδάφους

Παρατηρώντας τα παραπάνω γραφήματα των μετρήσεων των κόμβων μπορούμε να εξάγουμε χρήσιμες πληροφορίες για την καλλιέργεια και τον αγρό. Καταρχήν η υψηλή διακύμανση της θερμοκρασίας οφείλεται και στην αλλαγή των εποχών (καλοκαίρι - φθινόπωρο) αλλά και στην ώρα που αναφέρεται η μέτρηση αν είναι πρωινή (ενδεχομένως πιο μικρή τιμή θερμοκρασίας) μεσημεριανή ή βραδυνή. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την θερμοκρασία διότι μπορούμε να διαλέξουμε καλλιέργειες που έχουν μέγιστη απόδοση κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Επίσης σε περιόδους που έχουμε υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή υγρασία μπορούμε να παρέχουμε επιπλέον ποσότητες νερού για να μην επηρεαστεί η καλλιέργεια. Τέλος κάτω από ορισμένες κλιματολογικές συνθήκες και συγκεκριμένα όταν η τιμή της θερμοκρασίας εξισωθεί με τα επίπεδα της υγρασίας τότε δημιουργούνται παράσιτα και μικροοργανισμοί επιβλαβείς για την καλλιέργεια. Με τη βοήθεια των αισθητήρων μέτρησης της υγρασίας και της θερμοκρασίας μπορούμε να αποφύγουμε τέτοιες περιπτώσεις.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένα μέγεθος που επηρεάζεται άμεσα από την υγρασία. Με τη βοήθεια του χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας (Εικ. 4.12) και από εδαφολογικές αναλύσεις μπορούμε να ελέγξουμε τις τιμές ορισμένων στοιχείων όπως την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο, σε K^+ και σε pH. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να φανούν πολύ χρήσιμες γιατί μας βοηθούν να καθορίσουμε το είδος και την ποσότητα των λιπασμάτων που πρέπει να χορηγηθούν στις ζώνες διαχείρισης της καλλιέργειας για μέγιστη απόδοση.



Εικ. 4.12 Χάρτης ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Παρατηρώντας τις γραφικές παραστάσεις των κόμβων για το μέγεθος της υγρασίας μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα. Καταρχήν οι κόμβοι με τα αισθητήρια όργανα τοποθετήθηκαν στις ζώνες διαχείρισης του αγρού και σε διαφορετικά σημεία ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Για παράδειγμα οι αισθητήρες 4 και 5 τοποθετήθηκαν σε σημεία μικρότερης ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε σχέση με τους αισθητήρες 2 και 3. Παρατηρούμε ότι στα σημεία με υψηλές περιεκτικότητες σε άργιλο ευνοείται η καλύτερη συγκράτηση της υγρασίας. Ακόμη οι αισθητήρες που ήταν τοποθετημένοι σε σημεία με μέση κλίση εδάφους είχαν καταγράψει μεγαλύτερες τιμές υγρασίας από τους υπόλοιπους. Έτσι μπορούμε κατά κάποιο τρόπο να κατευθύνουμε την άδρευση και να την κατανήσουμε ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε ζώνης.

Τέλος από τη μελέτη των γραφικών παραστάσεων των TSR και PAR μπορούμε να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα. Τα δυο αυτά μεγέθη είναι πολύ σημαντικά για κάθε είδους καλλιέργεια γιατί μας δίνουν λεπτομέρειες για την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και το ρυθμό φωτοσύνθεσης της καλλιέργειας. Στα γραφήματα παρατηρούμε ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Αύγουστο, Σεπτέμβρη) οι τιμές των μεγεθών αυτών είναι πιο υψηλές σε σχέση με τους άλλους μήνες. Γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι πιθανό (πάντα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και την υγρασία) η καλλιέργεια να αναπτύσσεται με γρήγορους ρυθμούς και οι ανάγκες της σε άδρευση και λίπασμα να είναι αυξημένες σε σχέση με άλλους μήνες.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά το πέρας του πειράματος και μελέτης των αποτελεσμάτων καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε μεγάλη συσχέτιση μεταξύ του ανάγλυφου ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού και τις τιμές της εδαφικής υγρασίας που καταγράφηκαν από τους αισθητήρες. Η Γεωργία Ακριβείας και η χρήση των τεχνολογιών της παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον αλλά και οφέλη γιατί το έδαφος κάθε καλλιέργειας παρουσιάζει μεγάλη παραλλακτικότητα.

Με την εγκατάσταση αισθητήρων μέτρησης υγρασίας, θερμοκρασίας, TSR και PAR σε ζώνες με διαφορετική ηλεκτρική αγωγιμότητα και με διαφορετική κλίση εδάφους καταγράφηκαν διαφορετικές τιμές από τα αισθητήρια όργανα. Διαπιστώνουμε λοιπόν ότι οι ανάγκες της κάθε ζώνης είναι διαφορετικές. Αυτό δεν θα μπορούσαμε να το διαπιστώσουμε χωρίς τη χρήση των τεχνολογιών της γεωργίας Ακριβείας και των αισθητήριων οργάνων. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στους παραγωγούς να εξοικονομήσουν πόρους μειώνοντας παράλληλα τις ποσότητες λιπάσματος και άδρευσης στην καλλιέργεια αλλά πετυχαίνοντας τη μεγιστοποίηση της απόδοσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι σε αγρούς που χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία που περιγράφεται εδώ υπήρχε περιορισμός των εξόδων και βελτιστοποίηση της παραγωγής. Βέβαια για να το επιτύχει ο παραγωγός αυτό θα πρέπει να υιοθετήσει και άλλες τεχνικές όπως η χρήση συστημάτων ελεγχόμενης εφαρμογής λιπάσματος.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι παρά το κόστος αγοράς των αισθητήριων οργάνων και τοποθέτησής τους ο παραγωγός μπορεί να ωφεληθεί αρκεί να εφαρμοστεί η επαναληψιμότητα των τεχνικών αυτών στην καλλιέργεια για κάποιο χρονικό διάστημα. Μπορεί κάθε χρονιά να χρησιμοποιεί και τα δεδομένα των προηγούμενων ετών, τα οποία βρίσκονται αποθηκευμένα σε βάση δεδομένων, και να προσαρμόσει κατάλληλα την άρδευση της καλλιέργειας.

Τέλος πρέπει να πούμε ότι είναι σημαντικό να δημιουργούνται ζώνες διαχείρισης σε περιπτώσεις όπου τα εδαφικά χαρακτηριστικά παίζουν ρόλο στην ποιότητα και να συγκριθούν με τις ζώνες διαχείρισης που προκύπτουν από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Θα πρέπει οι μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας, θερμοκρασίας και υγρασίας να συσχετισθούν με διάφορα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά των καλλιεργειών για να οδηγήσουν στη βελτιστοποίηση της παραγωγής και σε οικονομικό κέρδος για τον παραγωγό.

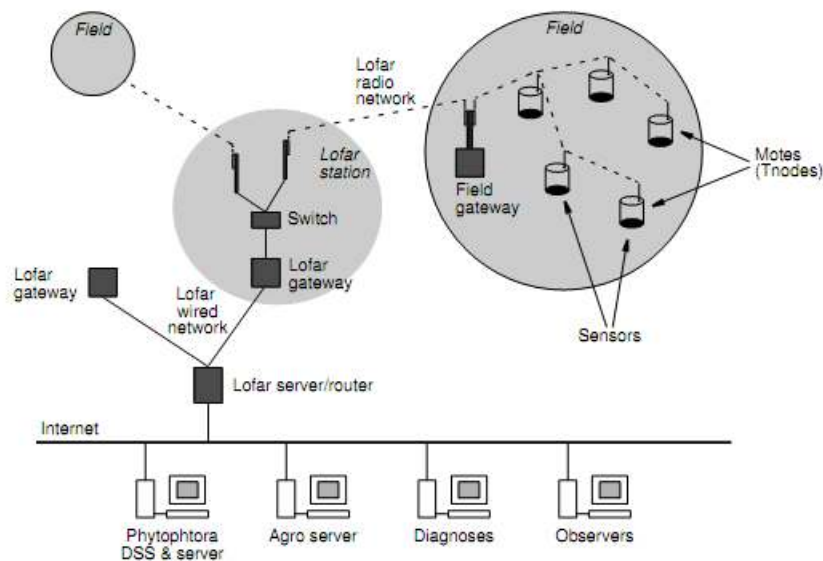
6 ΠΑΡΟΜΟΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί στην παρούσα εργασία , ο τομέας των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και η εφαρμογή τους στην γεωργία ακριβείας είναι ένα σχετικά σύγχρονο πεδίο . Πολλά ερευνητικά ιδρύματα και επιστημονικά κέντρα έχουν αφιερώσει ένα μέρος της έρευνάς τους πάνω στο συγκεκριμένο τομέα . Αυτό συμβαίνει διότι η χρήση των αισθητήρων στη γεωργία αφήνει πολλές υποσχέσεις για τη βελτίωση της ποιότητας της σοδειάς και της παραγωγής γενικότερα αλλά και την εξοικονόμηση τόσο χρηματικών πόρων όσο και φυσικών , όπως για παράδειγμα το νερό . Έτσι οι αγρότες από τη συγκεκριμένη τεχνολογία μπορούν να έχουν ποικίλα οφέλη . Παρακάτω θα αναφέρουμε κάποιες ερευνητικές εργασίες με κοινό θέμα από διάφορα επιστημονικά κέντρα ανά τον κόσμο.

6.1 ΟΛΛΑΝΔΙΑ , DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Στο συγκεκριμένο πανεπιστήμιο τεχνολογίας στην Ολλανδία διεξάγεται το Lofar Argo Project (Εικόνα 7.1) . Το συγκεκριμένο project εστιάζεται στην παρακολούθηση και την καταγραφή των μικροκλιμάτων σε έναν αγρό . Επίσης συγκεντρώνει πληροφορίες και στατιστικά στοιχεία για το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων . Αυτές οι στατιστικές θα αποτελέσουν τη βάση για τη δημιουργία και τη σχεδίαση αλγορίθμων για τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και τον τρόπο με τον

οποίο θα εφαρμοσθούν. Η εικόνα 7.1 δείχνει την αρχιτεκτονική ενός WSN στο Lofar Argo Project .



Εικ. 7.1 Αρχιτεκτονική του δικτύου της Lofar Argo Project

Το πείραμα περιελάμβανε την τοποθέτηση 150 αισθητήρων , με την ονομασία TNodes (πανομοιότυποι με τους Mica2) . Οι αισθητήρες μετρούσαν τις τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον αγρό.

7.2 PROJECT

Στο συγκεκριμένο Project συμμετέχουν ερευνητικά και πανεπιστημιακά ιδρύματα από διάφορες χώρες . Κάποια από αυτά είναι τα παρακάτω :

1. Πανεπιστήμιο του Lubeck – Γερμανία
2. Πανεπιστήμιο τεχνολογίας Braunschweig – Γερμανία
3. Ινστιτούτο έρευνας και τεχνολογίας υπολογιστών – Ελλάδα

4. Πολυτεχνείο της Καταλονίας – Ισπανία
5. Πανεπιστήμιο της Γενεύης – Ελβετία

Ο σκοπός αυτού του Project είναι να παρέχει μια πολύ-επίπεδη δομή συνδεδεμένων ασύρματων δικτύων αισθητήρων μεγάλης κλίμακας για ερευνητικούς σκοπούς , δοκιμάζοντας μια σύγχρονη προσέγγιση για το hardware , το λογισμικό , τους αλγόριθμους και τα δεδομένα των WSNs . Αυτό θα αποτελεί μια επίδειξη για τον τρόπο με τον οποίο ετερογενείς συσκευές μικρής κλίμακας και testbeds μπορούν να συνδυαστούν για να δημιουργήσουν ένα δίκτυο ευρείας κλίμακας. Λόγω της ύπαρξης πολλών μικρών ετερογενών συσκευών το σενάριο περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός δυναμικού δικτύου που θα μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες του project.

7.3 EPFL PROJECT

Την έρευνα αυτή τη διεξάγει το Πανεπιστήμιο της Λωζάνης και αφορά την παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών και την κατανάλωση του νερού στις καλλιέργειες στην Ινδία . Οι πληροφορίες που συλλέγονται βοηθούν στην καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων και την αύξηση της παραγωγής με λιγότερο κόστος , σε χώρες φτωχότερες οικονομικά , όπως η Ινδία.

7.4 CTI

Το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα αφορά την αρχιτεκτονική jWebDust για την γεωργία ακριβείας. Η αρχιτεκτονική αυτή περιλαμβάνει πολλούς σχεδιαστικούς στόχους , όπως αυτονομία , αξιοπιστία και διαθεσιμότητα . Η συγκεκριμένη αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την συλλογή δεδομένων από διάφορα WSNs , την επεξεργασία τους καθώς και την επικοινωνία με τους σταθμούς βάσης των δικτύων .

7.5 ARCH ROCK

Το συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα αφορά την εγκατάσταση αισθητήρων και τη δημιουργία WSN σε ένα αμπέλι για την παραγωγή κρασιού. Πρόγραμμα αρκετά παρόμοιο με το δική μας ερευνητική εργασία και το σχέδιο ήταν η τοποθέτηση αισθητήρων και υπολογιστών (σαν σταθμοί βάσης) καθώς και η επικοινωνία με τους υπολογιστές σε real – time χρόνο μέσω του διαδικτύου .

7.6 IIM CALCUTA , R & D PROJECT

Αυτό το project γίνεται υπό την αιγίδα των :

- Media Lab Asia
- Government of India
- Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya

Η έρευνα αυτή αφορά την παρακολούθηση των κλιματικών αλλαγών σε real –time χρόνο των κλιματολογικών αλλαγών στην αγροτική καλλιέργεια για την γεωργία ακριβείας . Ο στόχος είναι η εγκατάσταση ασύρματων αισθητήρων για τη δημιουργία ενός WSN με σκοπό τη βοήθεια ορισμένων περιοχών για αύξηση της παραγωγής με λιγότερο κόστος .

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παρακάτω ακολουθούν βιβλιογραφικές αναφορές σε βιβλία και επιστημονικές εργασίες τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την συγγραφή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

[1] Kevin Mayer Faculty of Engineering & IT Australian National University « CATTLE HEALTH MONITORING USING WIRELESS SENSOR NETWORKS ».

[2] Faculty of Information Technology and Systems Delft University of Technology The Netherlands , Tijs van Dam « An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks »

[3] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci Georgia Institute of Technology « A Survey on Sensor Networks »

[4] CHEE-YEE CHONG, MEMBER, IEEE AND SRIKANTA P. KUMAR, SENIOR MEMBER, IEEE «Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges»

[5] David Culler University of California, Berkeley «Overview of sensor networks»

[6] Jason Lester Hil, «System Architecture for Wireless Sensor Networks », University of California, Berkeley, Spring 2003, Chapter 2

[7] Eiko Yoneki, Jean Bacon, «A survey of Wireless Sensor Network technologies : research trends and Middleware's role » Cambridge University, September 2005, Chapter 1

[8] Yingshu Li, «Wireless Sensor Networks: a survey», September 2004, Presentation

[9] Fernando Martincic, Loren Schwiebert, «Introduction to Wireless Sensor Networking» Wayne State University, Detroit, Michigan, Chapter 1

[10] Khurram Niaz Shaikh, Abdul Rashid bin Mohammad Shariff, Hishamuddin Jamaluddin, Shattri Mansoor, «GPS-Aided-INS for Mobile Mapping in Precision Agriculture», University Putra Malaysia, Map Asia Conference 2003

[11] Prof. Simon Blackmore, «DEVELOPING THE PRINCIPLES OF PRECISION FARMING», The Centre for Precision Farming, The Royal Veterinary and Agricultural University, Denmark

[12] Spyros Fountas, «Technologies for Precision Agriculture», April 16, 2002

- [13] Παναγιώτης Κίικιρας, “SPATIAL DECISION SUPPORT SYSTEMS (INTRODUCING A GIS ENABLED DSS)”
- [14] Mark Hempstead , « An Ultra Low Power System Architecture for Sensor Network Applications » , Division of Engineering and Applied Sciences Harvard University
- [15] Dr. Paul J.M. Havinga University of Twente the Netherlands , «Sensor Networks for monitoring»
- [16] Phil Buonadonna , Intel Research Berkeley, «TASK: Sensor Network in a Box»
- [17] Konstantinos P. Ferentinos , Informatics Laboratory, Agricultural University of Athens , « Energy Optimization of Wireless Sensor Networks for Environmental Measurements »
- [18] Wei Zhang , The Robotics Institute Carnegie Mellon University , « Integrated Wireless Sensor/Actuator Networks in an Agricultural Application »
- [19] <http://webs.cs.berkeley.edu>
- [20] Mani Srivastava ,UCLA , «Dynamic Sensor Networks »
- [21] EPFL « COMMON – Sense Net : Using sensor networks to help agriculture and water management in precision agriculture»
- [22] IBM Research GmbH Zurich Research Laboratory , «The IBM Wireless Sensor Networking Testbed »
- [23] Vlado Handziski, Holger Karl , Adam Wolisz Telecommunication Networks Group Technische Universität at Berlin , « A common wireless sensor network architecture »
- [24] Crossbow , «Wireless Systems for Environmental Monitoring »
- [25] Peter Bajcsy , Automated Learning Group National Center for Supercomputing Applications , « System Design Issues for Applications Using Wireless Sensor Networks »
- [26] Eiko Yoneki, Jean Bacon «A survey of Wireless Sensor Network technologies: research trends and middleware’s role»
- [27] School of Electrical and Computer Engineering School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology « WIRELESS SENSOR AND ACTOR NETWORKS »
- [28] F. L. LEWIS , The University of Texas «Wireless Sensor Networks »
- [29] Pat Bowen , Pacific Agri-business Research Centre/AgCanada, Canada, « Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network »
- [30] Jan Beutel Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich , « Metrics for Sensor Network Platforms »
- [31] David Boyle Department of Electronic and Computer Engineering, University of Limerick «Securing Wireless Sensor Networks: Security Architectures »

- [32] Lizhi Charlie Zhong , Berkeley Wireless Research Center , « DATA LINK LAYER DESIGN FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS »
- [33] Andreas Weissel , University of Erlangen-Nuremberg , «Energy-aware Reconfiguration of Sensor Nodes »
- [34] Jeffery Undercoffer , University of Maryland , «Security for Sensor Networks»
- [35] Katsalis Konstantinos, Kikiras Panagiotis , Department of Computer and Communications Engineering University Of Thessaly, « Proposing a Method of Network Topology Optimization in Wireless Sensors in Precision Agriculture »
- [36] Robin Braun , Institute of Information and Communication Technologies University of Technology, Sydney , « On Wireless Sensor Networks: Architectures, Protocols, Applications, and Management »
- [37] Jing Deng , Richard Han ,and Shivakant Mishra, «A Performance Evaluation of Intrusion-Tolerant Routing in Wireless Sensor Networks», Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003
- [38] Fei Hu, Neeraj K. Sharma, «Security considerations in ad hoc sensor networks»Computer Science (Elsevier),September 2003
- [39] Chris Karlof, David Wagner, «Secure routing in wireless sensor networks:attacks and countermeasures»,Computer Science (Elsevier),2003
- [40] Jing Deng , Richard Han ,and Shivakant Mishra, « A Performance Evaluation of Intrusion-Tolerant Routing in Wireless Sensor Networks», Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003