

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

University of Macedonia

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Master Information Systems

Δίκτυα Υπολογιστών

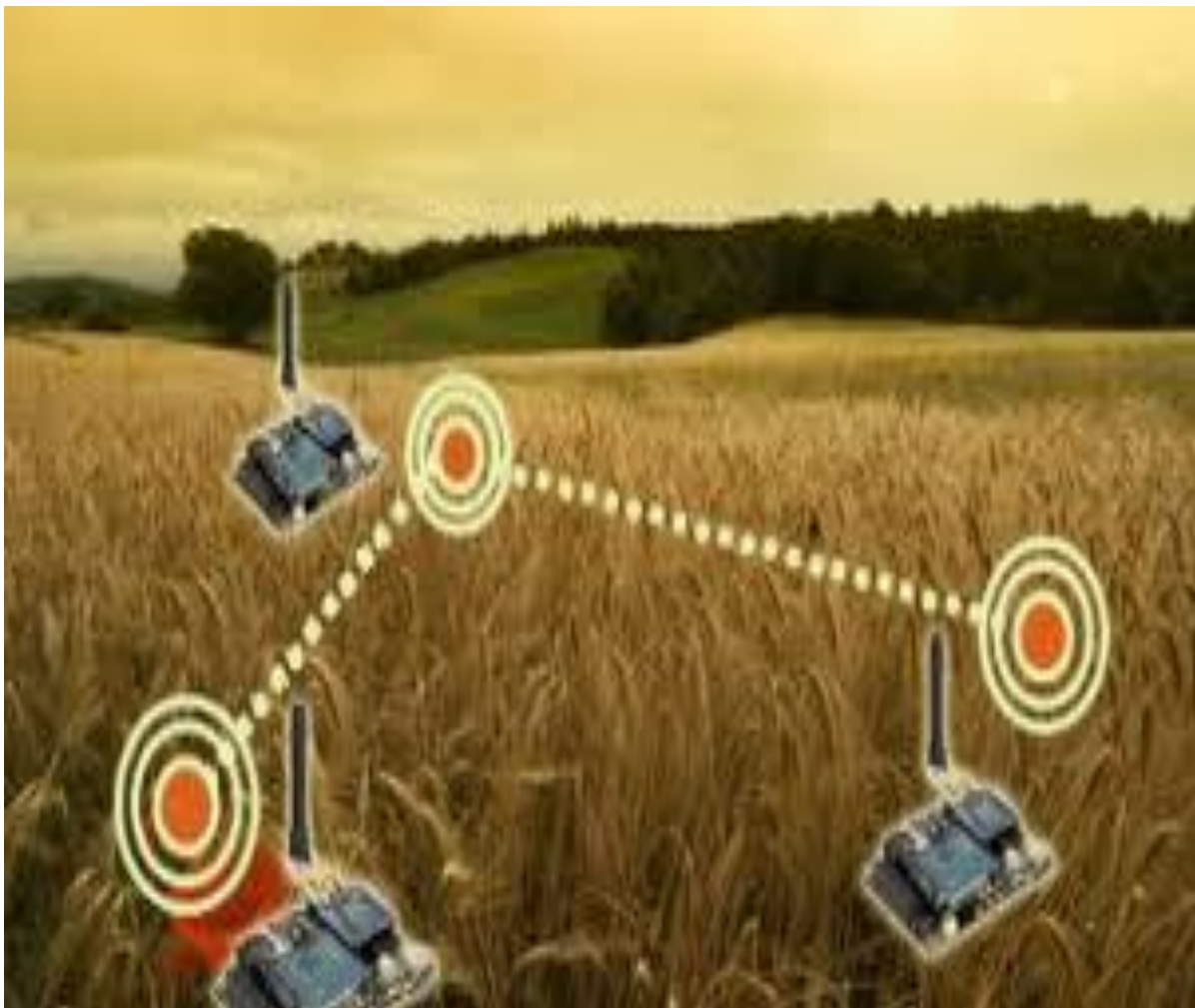
Computer Networks

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

Professor: A.A. Economides

Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην γεωργία και την κτηνοτροφία.

Wireless Sensor Networks in agriculture and farming.



Γκαντάκας – Σάββας Μιχαήλ
Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2013

Περιεχόμενα

Περίληψη – Abstract	3
Εισαγωγή	5
1. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSNs.	7
1.1. Ορισμός ασύρματων δικτύων αισθητήρων WSNs.	7
1.2. Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων.	8
1.2.1. Αντοχή σφαλμάτων.	8
1.2.2. Δυνατότητα κλιμάκωσης.	8
1.2.3. Κόστος εγκατάστασης.	9
1.2.4. Περιορισμοί υλικού.	9
1.2.5. Τοπολογία δικτύων αισθητήρων.	10
1.2.6. Περιβάλλον.	10
1.2.7. Μέσα μετάδοσης.	11
1.2.8. Κατανάλωση ενέργειας.	11
2. Αρχιτεκτονική ασύρματων δικτύων αισθητήρων στη γεωργία και την κτηνοτροφία.	11
2.1. Υλικό – Hardware που απαιτείται.	11
2.2. Το πρωτόκολλο Zigbee.	13
2.2.1. Πλεονεκτήματα επιλογής πρωτοκόλλου Zigbee.	14
3. Εφαρμογές των αισθητήρων των WSNs στη γεωργία και την κτηνοτροφία.	15
3.1. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	16
3.2. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος.	17
3.3. Αισθητήρας μέτρησης ανέμου.	18
3.4. Αισθητήρες στα κολάρα των ζώων.	19

4. Μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs.	21
4.1. Παρακολούθηση καλλιέργειας πατάτας για ανίχνευση ασθενειών.	21
4.2. Παρακολούθηση βοσκοτόπου.	22
4.3. Μελέτη εφαρμογής WSN για αειφόρες πρακτικές καλλιέργειας.	23
4.4. Μελέτη εφαρμογής WSN σε αμπελώνα.	24
Συμπεράσματα – Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.	25
Βιβλιογραφία.	27

Περίληψη

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και της μικροηλεκτρονικής τα τελευταία χρόνια, είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs). Τα δίκτυα αυτά, βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας στον σύγχρονο κόσμο. Ένας από αυτούς τους τομείς, είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία. Η νέα τάση που επικρατεί στην σύγχρονη γεωργία ονομάζεται γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture) και επιβάλλει τη χρήση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Η χρήση τους, αποτελεί απαραίτητο συστατικό στοιχείο της προσπάθειας που γίνεται για σύγχρονες μεθόδους ελέγχου και αξιοποίησης της πληροφορίας, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι που επιτάσσει η γεωργία ακριβείας. Σκοπός της εργασίας, είναι να παρουσιάσει τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στη γεωργία και την κτηνοτροφία, τα τμήματα από τα οποία αποτελείται ένα τέτοιο δίκτυο, την αρχιτεκτονική τους και πώς συνδέονται αυτά μεταξύ τους για να αποστείλουν την πληροφορία στον τελικό χρήστη. Επίσης, παρουσιάζονται κάποιες πραγματικές μελέτες ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία και την κτηνοτροφία ενώ στο τέλος ακολουθούν συμπεράσματα και πρόταση για περαιτέρω έρευνα.

Abstract

The rapid development of technology and microelectronics in the past years, led in the development of Wireless Sensor Networks (WSNs). These networks can be applied in various areas of everyday life in the modern world. One of these areas are agriculture and livestock production. The new trend in modern agriculture, is called Precision Agriculture. This trend requires the use of WSNs. Their use is an essential component of the effort made for modern control methods and utilization of information to achieve the objectives that Precision Agriculture requires. The purpose of this paper is to present the WSNs networks in agriculture and livestock, the parts that consist a network like this, their architecture and the

connections between the parts of a WSN network, in order to send the collected data to the final user. We also, present some real case studies of WSNs in agriculture and livestock. The conclusions and the proposal follow.

Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή, την εποχή της παγκοσμιοποίησης και της ραγδαίας ανάπτυξης της τεχνολογίας ο ανταγωνισμός εντείνεται. Κάτι τέτοιο δεν θα μπορούσε να αφήσει ανεπηρέαστο και τον κλάδο της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Οι γεωργοί και οι κτηνοτρόφοι αναζητούν συνεχώς νέους τρόπους και μεθοδολογίες ώστε να επιτύχουν την βελτιστοποίηση όσον αφορά στην ποιότητα και στην απόδοση των αγρών τους και των κτηνοτροφικών τους μονάδων. Μόνο έτσι μπορούν να επιβιώσουν και να σταθούν ανταγωνιστικοί στην εγχώρια αλλά και στην παγκόσμια αγορά.

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί μία νέα προσέγγιση για την επίτευξη του παραπάνω στόχου, που είναι ευρύτερα γνωστή ως γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture). Η γεωργία ακριβείας επιβάλλει τη χρήση της τεχνολογίας και των πληροφοριακών συστημάτων στους αγρούς και στην κτηνοτροφία, ούτως ώστε να επιτευχθεί αύξηση της παραγωγικότητας και των εσόδων και μείωση του κόστους και των ζημιών που μπορεί να προκληθούν από εξωγενείς παράγοντες όπως το περιβάλλον. Στην γεωργία ακριβείας χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνολογίες, όπως είναι οι τεχνολογίες GPS, GIS, τεχνολογίες τηλεπισκόπησης (Remote sensing), διάφορες μηχανές ελέγχου (Machine controls), ενώ την κυρίαρχη θέση κατέχει η τεχνολογία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs – Wireless sensor networks). (Katsalis, Xenakis, Kikiras & Stamoulis, 2007).

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) είναι ένα σύνολο διεσπαρμένων αισθητήρων, που είναι υπεύθυνοι για την παρακολούθηση και την καταγραφή των φυσικών συνθηκών του περιβάλλοντος και την οργάνωση των συλλεχθέντων δεδομένων σε μία κεντρική τοποθεσία. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να αποτελείται από μερικές εκατοντάδες ως και χιλιάδες κόμβους αισθητήρων. Ο κάθε κόμβος ξεχωριστά, περιλαμβάνει ένα ραδιοφωνικό πομποδέκτη μαζί με μία κεραία, ένα μικροελεγκτή, ένα ηλεκτρονικό

κύκλωμα διεπαφής και μία πηγή ενέργειας, που συνήθως πρόκειται για μία μπαταρία. Το μέγεθος των κόμβων όπως και η τιμή τους παρουσιάζουν μία ποικιλία, ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους λειτουργικότητας του αισθητήρα. (Stankovic, 2006). Τα WSNs βρίσκουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς της καθημερινότητας. Απο τον κλάδο της γεωργίας και της κτηνοτροφίας και τον κλάδο της ιατρικής μέχρι και στον κλάδο των μεταφορών.

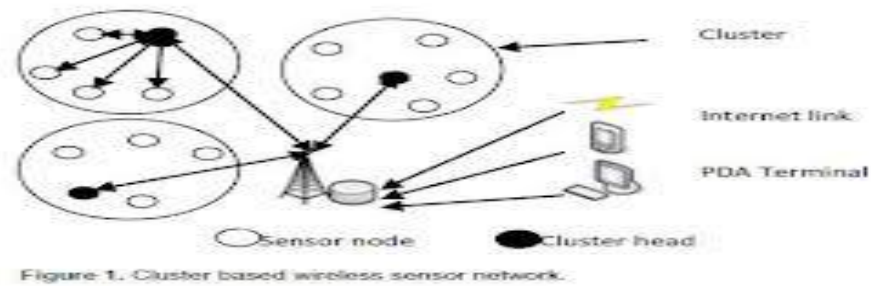
Σκοπός της παρούσας εργασίας, είναι να παρουσιάσει τα WSNs και πιο συγκεκριμένα τις εφαρμογές των WSNs στη γεωργία και την κτηνοτροφία, ενώ παρουσιάζονται και κάποιες ενδεικτικές μελέτες περιπτώσεων εφαρμογής των WSNs στους συγκεκριμένους κλάδους.

1. Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων WSNs

1.1. Ορισμός ασύρματων δικτύων αισθητήρων WSNs.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι στην ουσία ένα ασύρματο δίκτυο που αποτελείται από πολλές μικρές συσκευές, που έχουν πάνω τους εγκαταστημένους αισθητήρες για τη μέτρηση διαφόρων ποσοτικών μεταβλητών όπως είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κλπ. (Keshtgary & Deljoo, 2012). Η κάθε μία συσκευή, είναι ενεργειακά αυτόνομη και για το δίκτυο αποτελεί έναν κόμβο. Πλέον στις μέρες μας, οι κόμβοι ομαδοποιούνται και δημιουργούν τα λεγόμενα clusters. Ο κάθε κόμβος ενός cluster αφού συλλέξει τα δεδομένα του, τα μεταδίδει στον “επικεφαλή” κόμβο του cluster που λέγεται cluster head και με τη σειρά του ο cluster head και μόνο, μεταδίδει τα συλλεγόμενα δεδομένα στον κόμβο συλλέκτη του ασύρματου δικτύου, που ονομάζεται sink node. Κύρια ευθύνη του sink node είναι η συλλογή και αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων από τους διάσπαρτους κόμβους και εν συνεχεία η αποστολή αυτών των δεδομένων είτε σε κάποιο υπολογιστή που είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον sink node είτε ακόμα και με τη χρήση κάποιας πύλης στο διαδίκτυο και μέσω αυτού σε διάφορες συσκευές (PDA κλπ) (Ramesh & Somasundaram, 2011).

Έτσι, με αυτόν τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα στον διαχειριστή του δικτύου να έχει συγκεντρωμένα χρήσιμα δεδομένα που τον βοηθούν να πάρει τις κατάλληλες αποφάσεις και να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες κάθε φορά. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει ξεκάθαρα όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και δείχνει πως συνδέονται μεταξύ τους οι συσκευές-κόμβοι σε ένα δίκτυο WSN.



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική των WSNs.

1.2. Χαρακτηριστικά ασύρματων δικτύων αισθητήρων.

Για τον σχεδιασμό ενός σωστού και αποτελεσματικού δικτύου ασύρματων αισθητήρων, πρέπει να ληφθεί υπόψιν ένας αριθμός χαρακτηριστικών που τα προσδιορίζουν. Αυτά τα χαρακτηριστικά μπορούν να αποτελέσουν κατά κάποιο τρόπο έναν οδηγό για την επιλογή και σχεδιασμό του πρωτοκόλλου και αλγορίθμου που θα χρησιμοποιηθεί στο εκάστοτε ασύρματο δίκτυο. (Akyildiz, Su, Sankarasubramaniam & Cayirci, 2002)

1.2.1. Αντοχή σφαλμάτων.

Με τον όρο αντοχή σφαλμάτων εννοούμε την ικανότητα ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων δικτύων, να συνεχίζει να εκτελεί τις δραστηριότητες και τις λειτουργίες για τις οποίες έχει εγκατασταθεί, παρά τα όποια προβλήματα μπορούν να εμφανιστούν σε κάποιο κόμβο ή κόμβους. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να προκύψουν είτε απο έλλειψη ενέργειας στον αισθητήρα που θα τον θέσει εκτός λειτουργίας, είτε απο κάποια φυσική καταστροφή. Η αντοχή σφαλμάτων προσδιορίζεται κάθε φορά με διαφορετικό τρόπο ανάλογα με το σκοπό που το εκάστοτε δίκτυο έχει εγκατασταθεί να εξυπηρετήσει. Έτσι διαφορετικό επίπεδο αντοχής σφαλμάτων πρέπει να ληφθεί υπόψιν για ένα δίκτυο που παρακολουθεί τη θερμοκρασία και τα επίπεδα υγρασίας σε ένα χωράφι και άλλο επίπεδο αντοχής σφαλμάτων σε δίκτυα που χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές εφαρμογές.

1.2.2. Δυνατότητα κλιμάκωσης.

Ο αριθμός των αισθητήριων κόμβων για την παρακολούθηση ενός φαινομένου μπορεί να κυμαίνεται απο μερικές εκατοντάδες ως και χιλιάδες. Για το λόγο αυτό, τα

πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη σχεδίαση του δικτύου, θα πρέπει να είναι σε θέση να χειριστούν αυτόν τον υπέρογκο αριθμό κόμβων.

1.2.3. Κόστος εγκατάστασης.

Για ένα δίκτυο που αποτελείται από μερικές χιλιάδες κόμβους αισθητήρων, το κόστος εγκατάστασης κάθε άλλο παρά αδιάφορο θα μπορούσε να είναι. Το συνολικό κόστος ενός δικτύου ισούται με το κόστος του ενός αισθητήρα πολλαπλασιασμένο με τον αριθμό τους. Η τιμή του κάθε αισθητήρα διαφέρει ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία έχει κατασκευαστεί να εκτελέσει. Είναι σημαντικό λοιπόν η επιλογή αισθητήρα με εκείνα τα χαρακτηριστικά που να πετυχαίνει τον καλύτερο συνδυασμό κόστους-χρησιμότητας για την εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί.

1.2.4. Περιορισμοί υλικού.

Ένας κόμβος ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων αποτελείται από τέσσερα μέρη τα οποία είναι μία μονάδα αίσθησης, μία μονάδα επεξεργασίας, ένας πομποδέκτης και μία μονάδα ενέργειας. Το κάθε μέρος εκτελεί τις δικές του διεργασίες στον αισθητήρα. Ωστόσο, δημιουργούνται ορισμένοι περιορισμοί όσον αφορά στο υλικό του αισθητηρίου κόμβου οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω.

- Το μέγεθος τους πρέπει να είναι πολύ μικρό, ώστε να χωρέσουν σε ένα πολύ μικρό κουτί (ειδικά για εφαρμογές που απαιτούν ελαφρείς αισθητήριους κόμβους ώστε να αιωρούνται).
- Πρέπει να καταναλώνουν όσο το δυνατόν πιο χαμηλή ενέργεια.
- Πρέπει να μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς άμεση εποπτεία από κάποιον.
- Πρέπει να μπορούν να προσαρμόζονται στο περιβάλλον λειτουργίας τους εύκολα.

1.2.5. Τοπολογία δικτύων αισθητήρων.

Σε ένα WSN οι κόμβοι διακρίνονται σε πηγές (sources: οι κόμβοι που παρέχουν τις πληροφορίες στο δίκτυο) και αποδέκτες (sinks: οι συσκευές που ζητούν και συλλέγουν τις πληροφορίες). Έτσι, ανάλογα με το πως συνδέονται μεταξύ τους οι πηγές και οι αποδέκτες, μπορούν να σχηματιστούν τρεις διαφορετικές τοπολογίες. (Riedel & Net, 2004).

- Τοπολογία αστέρα (star): Αποτελείται από έναν αποδέκτη και αρκετές πηγές που βρίσκονται γύρω του και τον πλαισιώνουν.
- Τοπολογία peer to peer (mesh): Ο κάθε κόμβος μπορεί να επικοινωνήσει με κάθε γειτονικό του κόμβο στο δίκτυο. Συνεπώς, σ' αυτή την τοπολογία υπάρχουν αρκετοί αποδέκτες.
- Τοπολογία δέντρου (hybrid): Περιλαμβάνει έναν κεντρικό αποδέκτη αλλά και οι υπόλοιποι κόμβοι, πέρα από τον ρόλο της πηγής επιτελούν και το ρόλο συντονιστή και αποδέκτη για τους κόμβους που βρίσκονται γύρω τους.

Συνεπώς, ο έλεγχος και η επιλογή της τοπολογίας του WSN δικτύου, είναι μία άλλη σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν κατά τη φάση σχεδίασης του δικτύου.

1.2.6. Περιβάλλον.

Ένας ακόμη κρίσιμος παράγοντας που πρέπει να εξεταστεί είναι το περιβάλλον και μάλιστα οι συνθήκες κάτω από τις οποίες θα λειτουργήσουν οι κόμβοι-αισθητήρες. Μπορεί οι κόμβοι να βρίσκονται σε βυθό θαλάσσης, να είναι εμφυτευμένοι μέσα σε σώμα ζώου ή ακόμη και μέσα στη γή.

1.2.7. Μέσα μετάδοσης.

Σε ένα WSN, η μετάδοση πληροφοριών απο κόμβο σε κόμβο γίνεται ασύρματα είτε με ραδιοσυχνότητες, είτε με υπέρυθρες είτε με οπτικές ίνες. Συνήθως το μέσο μετάδοσης που επιλέγεται σε τέτοια δίκτυα είναι οι ραδιοσυχνότητες. Η επιλογή όμως του μέσου μετάδοσης εξαρτάται εν τέλει απο την εφαρμογή για την οποία το δίκτυο εγκαταστήθηκε.

1.2.8. Κατανάλωση ενέργειας.

Το τελευταίο σημαντικό χαρακτηριστικό που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τον σχεδιασμό ενός WSN είναι η κατανάλωση ενέργειας. Κάθε κόμβος έχει σαν πηγή ενέργειας συνήθως μία απλή μπαταρία και η διάρκεια ζωής του είναι περιορισμένη. Για το λόγο αυτό, απαιτείται σωστή διαχείριση ενέργειας ώστε να μην εμφανιστούν προβλήματα στη σωστή λειτουργία του δικτύου απο κόμβους που πολύ πιθανό να τεθούν εκτός λειτουργίας λόγω έλλειψης ενέργειας.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός WSN, ώστε απο αυτό να αποκομισθεί η μέγιστη χρησιμότητά του στην εφαρμογή που θα χρησιμοποιηθεί.

2. Αρχιτεκτονική ασύρματων αισθητήρων δικτύων στην γεωργία και την κτηνοτροφία.

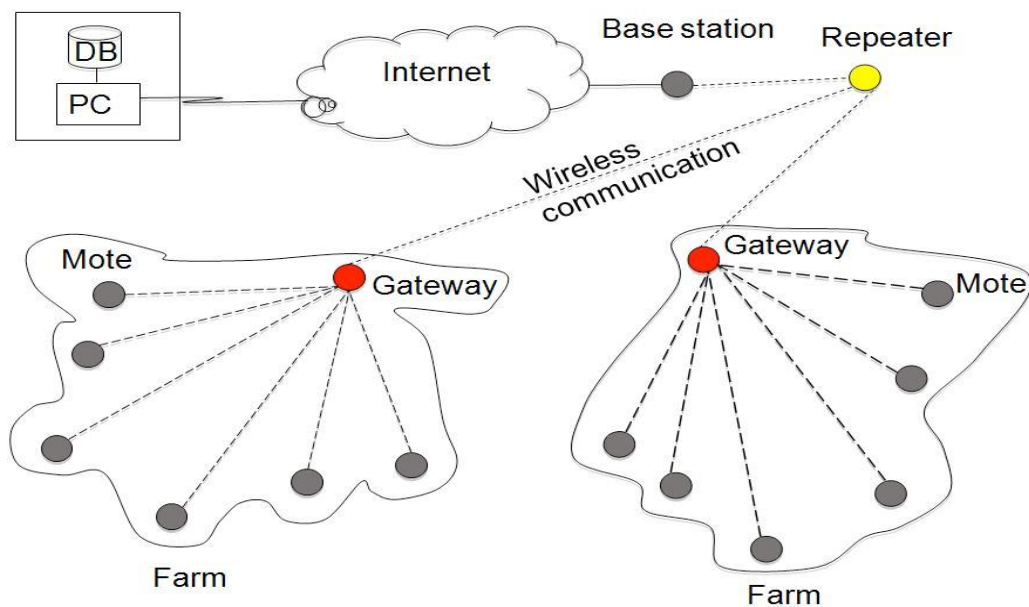
2.1. Υλικό (hardware) που απαιτείται.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές γεωργίας και κτηνοτροφίας αποτελούνται απο τα εξής υλικά μέρη (hardware). (Fajar, Nakanishi, Tagashira & Fukuda, 2010).

- Αισθητήρες – Συλλέκτες: Πρόκειται για τις μικρές συσκευές που είναι διάσπαρτες στο χώρο και ευθύνη τους αποτελεί η συλλογή και η αποστολή της πληροφορίας.

- Βάση – Πύλη (Gateway): Πρόκειται για μία συσκευή που ελέγχει το δίκτυο και που συγκεντρώνει τις πληροφορίες απο τους κόμβους, με σκοπό να τις αποστείλει σε έναν υπολογιστή ή tablet.
- Υπολογιστής – Tablet: Είναι υπεύθυνος να αποστείλει τις συλλεγόμενες πληροφορίες μέσω ενός modem σε έναν κεντρικό εξυπηρετητή (server).
- Modem: Το modem είναι συνδεδεμένο με τον υπολογιστή ή το tablet και στέλνει τις πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σ' αυτά μέσω του διαδικτύου στον κεντρικό εξυπηρετητή (server).
- Κεντρικός εξυπηρετητής (server): Ο server διαθέτει μία βάση δεδομένων και τα κατάλληλα προγράμματα, εφαρμογές και λογισμικό, ώστε να αποθηκεύονται και να αξιοποιούνται οι πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί απο τους αισθητήρες – κόμβους.

Στο σχήμα 2 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός τέτοιου δικτύου που αποτελείται απο τα παραπάνω υλικά στοιχεία.



Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική WSNs σε γεωργικές και κτηνοτροφικές εφαρμογές.

2.2. Το πρωτόκολλο Zigbee.

Κατά καιρούς έχουν αναπτυχθεί αρκετά πρωτόκολλα ασύρματης δικτύωσης για τα δίκτυα αισθητήρων και για την επικοινωνία των κόμβων – αισθητήρων μεταξύ τους. Τα σημαντικότερα πρωτόκολλα που έχουν αναπτυχθεί και έχουν βρεί εφαρμογή στον κλάδο της γεωργίας και της κτηνοτροφίας είναι το “WiFi” για LAN (local area networks) δίκτυα, που βασίζεται στις προδιαγραφές του 802.11b, το πρωτόκολλο Bluetooth για PAN (personal area networks) δίκτυα που βασίζεται στις προδιαγραφές του IEEE 802.15.1. και το πρωτόκολλο Zigbee που βασίζεται στην υλοποίηση του IEEE 802.15.4. και είναι κατάλληλο για δίκτυα WPAN(wireless personal area networks).(Gupta & Thangjam, 2012).

Το πλέον διαδεδομένο πρωτόκολλο στις μέρες μας και πιο συγκεκριμένα σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στη γεωργία και την κτηνοτροφία είναι το Zigbee. Το Zigbee, διαθέτει κάποια χαρακτηριστικά που ικανοποιούν απόλυτα τις απαιτήσεις ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων στον τομέα της γεωργίας και της κτηνοτροφίας. Κύρια χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου Zigbee είναι τα παρακάτω.(Wang, Zhang & Wang, 2006)

- Δυνατότητα λειτουργίας σε συχνότητες μάντας απο 868 Mhz εως και 2,4 Ghz.
- Δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων απο 20 Kbps εως 250 Kbps.
- Δυνατότητα σύνδεσης και συντονισμού σε πάνω απο 255 συσκευές – αισθητήρες σε κάθε δίκτυο.
- Υψηλή αξιοπιστία και ασφάλεια κατά τη μεταφορά των πακέτων.
- Διαχείριση ενέργειας για την όσο το δυνατόν χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας απο τους κόμβους – αισθητήρες και την επίτευξη μεγαλύτερης διάρκειας ζωής σε αυτούς.

Τα δίκτυα WSNs που στηρίζονται στο πρωτόκολλο Zigbee, περιλαμβάνουν τρεις κόμβους. Τον κόμβο συντονιστή (coordinator), κάθε δίκτυο πρέπει να περιλαμβάνει ένα

τέτοιο κόμβο που να συντονίζει το ασύρματο δίκτυο. Τον κόμβο δρομολόγησης (router), ο οποίος επεκτείνει την εμβέλεια του δικτύου και τον κόμβο τερματικής συσκευής (end device), ο οποίος παρέχει τη διασύνδεση ανάμεσα στους διάσπαρτους αισθητήριους κόμβους. (Huircan et al., 2010). Οι κόμβοι αυτοί ανάλογα με τον τρόπο που συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζουν τις τρεις διαφορετικές τοπολογίες (τοπολογία αστέρα, δέντρου και mesh), οι οποίες υποστηρίζονται από το πρωτόκολλο Zigbee.

2.2.1. Πλεονεκτήματα επιλογής πρωτοκόλλου Zigbee.

Σ' αυτό το σημείο θα ήταν χρήσιμο να αναφερθούν οι λόγοι για τους οποίους τα δίκτυα Zigbee βρίσκουν τόσο μεγάλη απήχηση στην γεωργία και την κτηνοτροφία και προτιμώνται έναντι των υπολοίπων. (Zhang, Yang, Zhou, Wang & Guo, 2007)

Όσον αφορά το κόστος, η κάθε συσκευή-αισθητήρας είναι κατά πολύ φθηνότερος από τις αντίστοιχες συσκευές που χρησιμοποιούν την τεχνολογία WiFi και Bluetooth. Αξίζει να αναφερθεί ότι το κόστος μίας μικροσυσκευής σε ένα δίκτυο Zigbee είναι 1\$ ή και πιο φθηνή, ενώ στα WiFi και Bluetooth δίκτυα είναι 3\$ και 4\$ αντίστοιχα.

Από άποψη αριθμού κόμβων-αισθητήρων που μπορούν να διαχειριστούν, τα Zigbee δίκτυα μπορούν να διαχειριστούν και να ελέγξουν άνω των 254 κόμβων, αριθμός που είναι κατά πολύ μεγαλύτερος απ' ό,τι είναι στα άλλα δίκτυα.

Στα δίκτυα Zigbee, οι κόμβοι χρειάζονται πολύ λιγότερη ενέργεια για να λειτουργήσουν. Η κατανάλωση ενέργειας είναι 30μΑ, ενώ στα WiFi και στα Bluetooth η κατανάλωση ενέργειας είναι αντίστοιχα 350μΑ και 65-170μΑ. Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σημαίνει και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών των κόμβων-αισθητήρων. Έτσι, διασφαλίζεται η ομαλή λειτουργία του δικτύου για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Τέλος, ένα άλλο σημείο που υπερτερούν τα δίκτυα Zigbee είναι ότι η διάρκεια ζωής των μπαταριών του κάθε αισθητήρα, εκ κατασκευής της είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες μπαταρίες των μικροσυσκευών που χρησιμοποιούνται στα δίκτυα WiFi και Bluetooth. Οι μπαταρίες μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής από μερικούς μήνες έως και μερικά χρόνια.

Όλα τα παραπάνω εξηγούν τους λόγους για τους οποίους τα σύγχρονα WSNs που χρησιμοποιούνται στη γεωργία και την κτηνοτροφία, χρησιμοποιούν κατά κύριο λόγο το πρωτόκολλο Zigbee.

3. Εφαρμογές των αισθητήρων των WSNs στη γεωργία και την κτηνοτροφία.

Οι αισθητήρες ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων που είναι εγκατεστημένοι σε ένα χωράφι ή μία φάρμα διαφέρουν στη λειτουργία τους, ανάλογα με τη δραστηριότητα την οποία καλούνται να φέρουν εις πέρας. Υπάρχει μία πληθώρα αισθητήρων που χρησιμοποιούνται από τους γεωργούς και τους κτηνοτρόφους, οι οποίοι εκτελούν κάποιες συγκεκριμένες εργασίες – μετρήσεις. (Ruiz-Garcia, Lunadei, Barreiro & Robla, 2009).

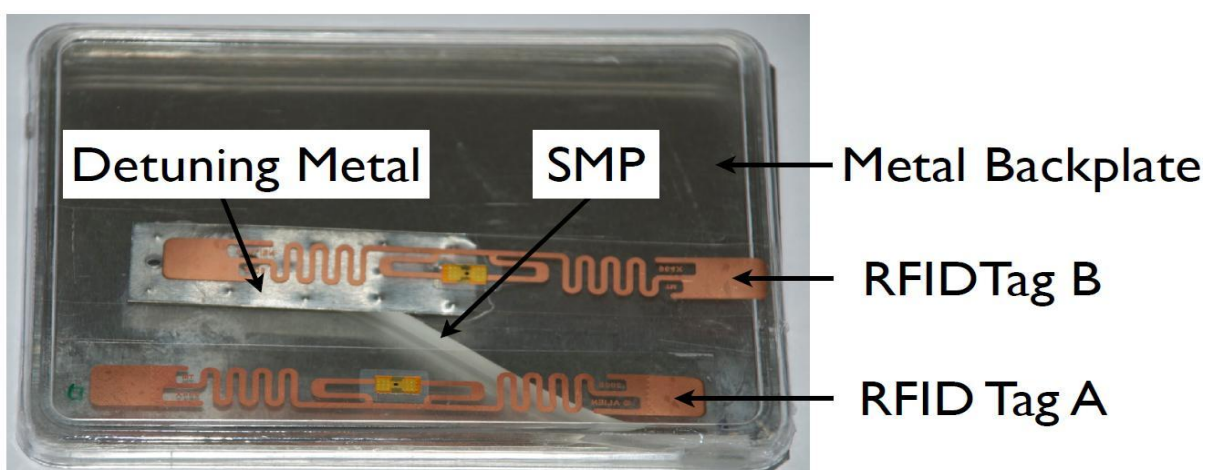
Ορισμένοι από αυτούς τους τύπους αισθητήρων είναι επιγραμματικά οι εξής:

- Αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- Αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου.
- Αισθητήρες μέτρησης επιπέδου υγρασίας στην ατμόσφαιρα.
- Αισθητήρες για τον έλεγχο της άρδευσης στις καλλιέργειες.
- Αισθητήρες για την ανίχνευση ασθενειών στα φυτά.
- Αισθητήρες για τον έλεγχο της υγείας και των κινήσεων – συμπεριφοράς των ζώων σε μία φάρμα.

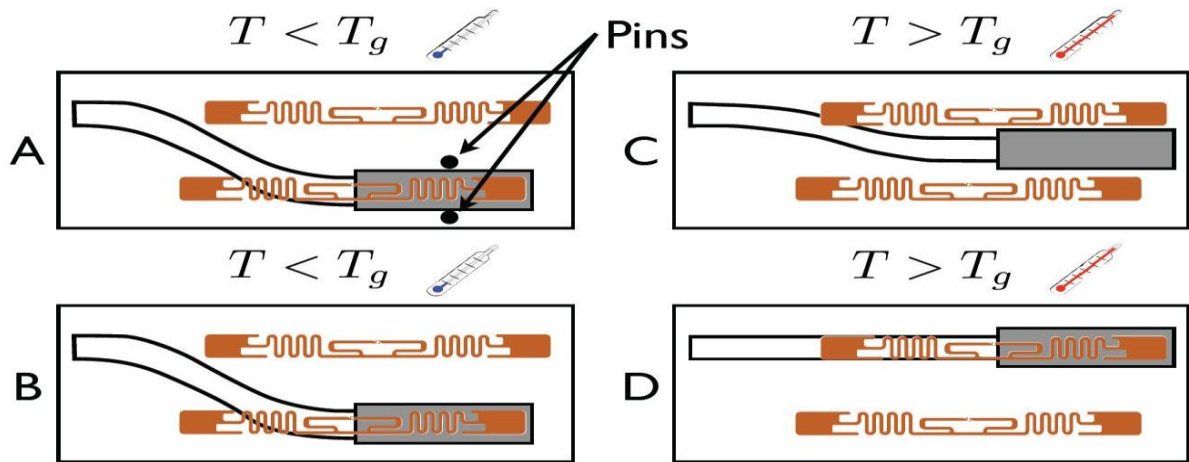
Παρακάτω, γίνεται μία μικρή ανάλυση του τρόπου με τον οποίο λειτουργούν κάποιοι από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους και εμφανιζόμενους τύπους αισθητήρων.

3.1. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Ο αισθητήρας που είναι υπεύθυνος για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αποτελείται από δύο ετικέτες RFID που απέχουν μεταξύ τους 25mm και βρίσκονται πάνω σε μία πλαστική βάση. Μέσα στον αισθητήρα θερμοκρασίας, υπάρχει μία μεταλλική πλακέτα. Μία «γέφυρα» shape memory polymer (SMP), ενώνει την παραπάνω μεταλλική πλακέτα με μία από τις δύο πλακέτες του RFID, με σκοπό την μετακίνηση της παραπάνω μεταλλικής πλακέτας. Αφού γίνει αρχικοποίηση του αισθητήρα σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία, ανάλογα με το φαινόμενο που παρατηρείται, ο αισθητήρας τοποθετείται στο περιβάλλον που χρήζει παρατήρησης. Αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι κάτω από το όριο που έχει τεθεί στην αρχικοποίηση της κατάστασης του αισθητήρα, η μεταλλική πλακέτα παραμένει στην αρχική της θέση. Αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος υπερβεί το όριο, τότε η «γέφυρα» SMP μετακινεί την μεταλλική πλακέτα προς την ετικέτα RFID A. Αυτό σημαίνει ότι η ετικέτα RFID A εκπέμπει πλέον πιο χαμηλό σήμα απ' ό,τι εξέπεμπε προηγουμένως και ειδοποιεί ότι υπάρχει μεταβολή θερμοκρασίας. (Bhattacharyya, Di Leo, Floerkemeier, Sarma & Anand, 2010) Τα σχήματα που ακολουθούν δείχνουν έναν τέτοιο αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και τον τρόπο λειτουργίας τους όπως αναλύθηκε παραπάνω.



Σχήμα 3: Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.



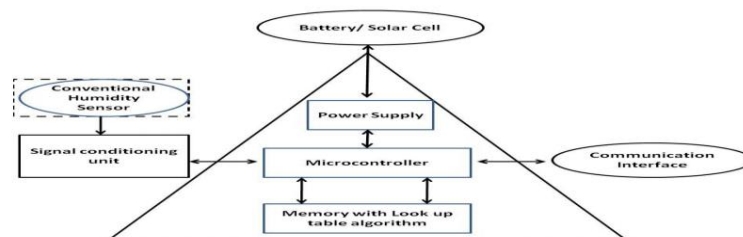
Σχήμα 4: Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας.

3.2. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος.

Ο αισθητήρας υγρασίας αποτελείται από τρία τμήματα: (Shinghal, Noor, Srivastava & Singh, 2011)

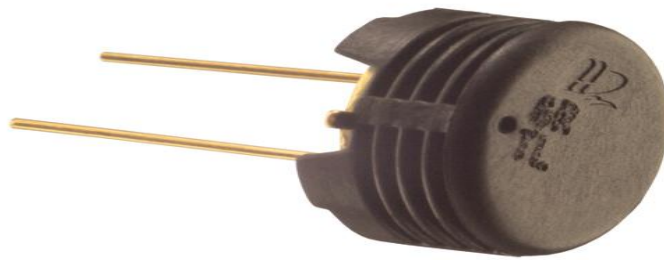
- Ένα αισθητήριο στοιχείο που μετράει την υπάρχουσα υγρασία.
- Ένα υπολογιστικό στοιχείο που αναλύει τις μετρήσεις που έγιναν από το αισθητήριο στοιχείο.
- Μία διεπαφή επεξεργασίας που ενώνεται με τον έξω κόσμο και επιτρέπει στον αισθητήρα να ανταλλάσει πληροφορίες με άλλες μεγαλύτερες συσκευές (για παράδειγμα έναν υπολογιστή).

Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το πως συνδέονται αυτά τα τρία τμήματα μεταξύ τους σε έναν τέτοιο αισθητήρα.



Σχήμα 5: Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας αισθητήρα υγρασίας.

Οι αισθητήρες αυτού του τύπου αποτελούνται από μία μη ευαίσθητη στην υγρασία και μη αγώγιμη δομή από ηλεκτρόδια, μαζί με μία διηλεκτρική επιφάνεια η οποία όμως είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην υγρασία. Η διηλεκτρική επιφάνεια καλύπτει στην ουσία την μη αγώγιμη δομή και είναι αυτή που απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον που βρίσκεται ο αισθητήρας. Ένας τέτοιος αισθητήρας παρουσιάζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 6: Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας.

3.3. Αισθητήρας μέτρησης ανέμου.

Ένα εξίσου σημαντικό μέγεθος που χρειάζεται οι αγρότες να γνωρίζουν και που μπορεί να επηρεάσει τις καλλιέργειες τους είναι ο άνεμος. Συγκεκριμένα, οι αγρότες χρειάζεται να γνωρίζουν δύο χαρακτηριστικά του ανέμου, την ταχύτητά του και την κατεύθυνσή του. (Μπαλάς, 2006).



Σχήμα 7: Αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 7, η ταχύτητα του ανέμου μετριέται με βάση τις περιστροφές του ρότορα (περιστρεφόμενο τμήμα) της συσκευής. Διαφορετικός αριθμός περιστροφών στο χρόνο, προσδιορίζει και διαφορετική ταχύτητα ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου προσδιορίζεται από ένα δυναμικά ισορροπημένο ανεμοδείκτη και ένα ποτενσιόμετρο. Όλες οι διευθύνσεις του ανέμου, μετριούνται με σημείο αναφοράς το Βορρά.

Τα στοιχεία που συλλέγονται από τον αισθητήρα, αποστέλλονται μέσω της πύλης με την οποία είναι συνδεδεμένος στο διαδίκτυο και από εκεί στον υπολογιστή του αγρότη, παρέχοντας του τα απαραίτητα δεδομένα ώστε να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες για την προστασία της καλλιέργειάς του.

3.4. Αισθητήρες στα κολάρα των ζώων.

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες όπως φαίνεται και στο σχήμα 8 που ακολουθεί, είναι ενσωματωμένοι πάνω σε ειδικά κολάρα που φορούν τα ζώα της φάρμας.

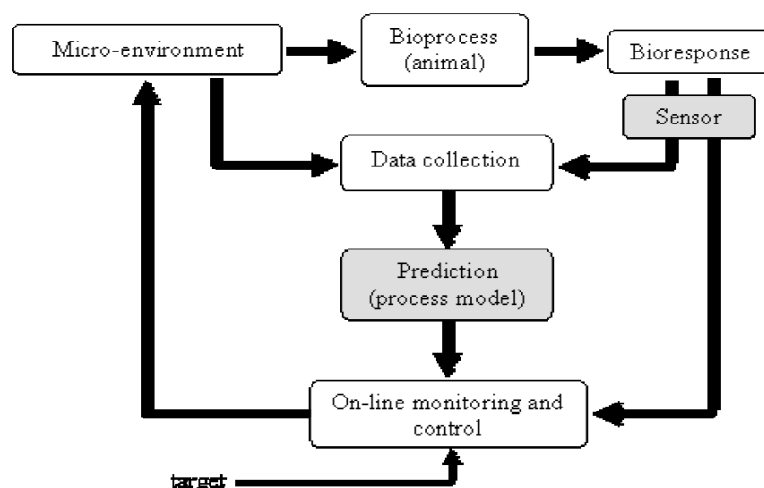


Σχήμα 8: Αισθητήρας ενσωματωμένος σε κολάρο ζώου.

Ο αισθητήρας μετράει διαφορές μεταβλητές που ενδιαφέρουν τον κτηνοτρόφο. Έτσι, ένας αισθητήρας μπορεί να συλλέξει και να παρέχει πληροφορίες κάθε στιγμή, σχετικά με τη θερμοκρασία του ζώου, τη συχνότητα αναπνοής του, τους χτύπους της καρδιάς του, ακόμη και τις κινήσεις που κάνει το κάθε ζώο μεμονωμένα μέσα στη φάρμα κλπ. (Costa, Mentasti,

Guarino, Leroy, Berckmans, 2007). Επίσης, οι αισθητήρες, ανα πάσα στιγμή, έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν το πως μεταβάλλονται οι παραπάνω μετρήσιμες μεταβλητές και πως ανταποκρίνονται τα ζώα σε κάποια αλλαγή του περιβάλλοντος όπως για παράδειγμα στην απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου όπου αυτά βρίσκονται. Αυτή η δυνατότητα των αισθητήρων να «προβλέπουν» την απότομη μεταβολή της συνηθισμένης δραστηριότητας των ζώων, μπορεί να δώσει στον κτηνοτρόφο, την πληροφορία ότι κάτι ασυνήθιστο – περίεργο συμβαίνει στη φάρμα του.

Όλες οι παραπάνω μετρήσιμες μεταβλητές, μαζί με την πρόβλεψη για κάποια περίεργη συμπεριφορά των ζώων, αναλύονται απο ειδικούς μαθηματικούς αλγόριθμους (που είναι εγκατεστημένοι σε ειδικά microchips σε κάθε αισθητήρα), με σκοπό να γίνονται αυτόματα κάποιες διορθωτικές κινήσεις και αλλαγές στη φάρμα που να βοηθούν στη διατήρηση της υγείας και της ευημερίας των ζώων. Το παρακάτω σχήμα δείχνει ακριβώς τον τρόπο λειτουργίας ενός τέτοιου αισθητήρα.

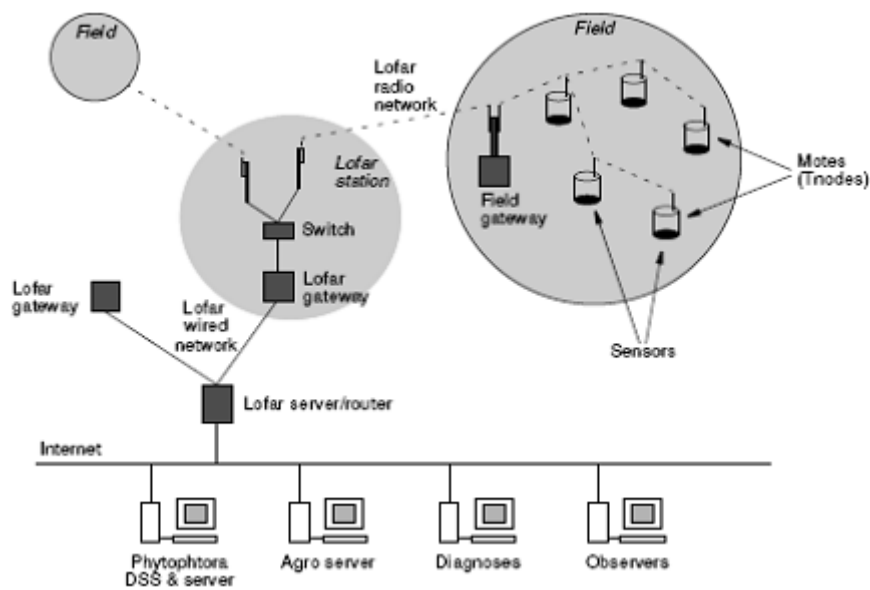


Σχήμα 9: Απεικόνιση τρόπου λειτουργίας αισθητήρων σε κολάρα ζώων.

4. Μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs.

4.1. Παρακολούθηση καλλιέργειας πατάτας για ανίχνευση ασθενειών.

Η συγκεκριμένη μελέτη έγινε στην Ολλανδία σε καλλιέργειες πατάτας με σκοπό την πρόωμη ανίχνευση της πιθανότητας να προκληθεί ασθένεια από τον μύκητα *Phytophthora*. (Baggio, 2005). Στο δίκτυο που στήθηκε, χρησιμοποιήθηκαν 150 αισθητήρες που συνδέονται και επικοινωνούν με πρωτόκολλο επικοινωνίας T-MAC, 2,4 GHz Radio. Ο ρυθμός λήψης και μετάδοσης των δεδομένων είναι αντίστοιχα 1 και 10 λεπτά, ενώ οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με ενέργεια από απλές μπαταρίες. Η αρχιτεκτονική του δικτύου παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 10: Αρχιτεκτονική του WSN που στήθηκε στη συγκεκριμένη μελέτη.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν (σχήμα 11), είναι υπεύθυνοι να παρακολουθούν την υγρασία, την ατμοσφαιρική πίεση, την θερμοκρασία, την φωτεινότητα και την δύναμη και διεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 11: Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη μελέτη.

Σκοπός των ερευνητών ήταν να συλλέξουν μετρήσιμα στοιχεία για την υγρασία, τη θερμοκρασία και την ύπαρξη νερού στα φύλλα του φυτού, παράγοντες που ευνοούν στην ανάπτυξη της ασθένειας. Η μελέτη είχε ως αποτέλεσμα την έγκαιρη διάγνωση της πιθανότητας να εκδηλωθεί η ασθένεια ενώ επίσης και την αποδοτικότερη απο άποψη κόστους χρήση λιπασμάτων και την όσο το δυνατόν μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος απο τη χρήση χημικών.

4.2. Παρακολούθηση βοσκοτόπου.

Η παρακάτω μελέτη διεξήχθη στην Αυστραλία σε μία έκταση με αγελάδες. (Wark et al., 2007). Σκοπός της μελέτης ήταν να διασφαλιστεί η ποιότητα της χλωρίδας του χωραφιού σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση της παρουσίας του κτηνοτρόφου και την αποδοτικότερη χρήση λιπασμάτων και νερού.

Το δίκτυο που στήθηκε αποτελούνταν απο 10 αισθητήρες πάνω στα κολάρα των αγελάδων που συνδέονται και επικοινωνούν με μία μίξη διαφόρων πρωτοκόλλων, ενώ οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με ενέργεια απο απλές μπαταρίες.

Οι αισθητήρες έχουν την ευθύνη συλλογής δεδομένων για την υγρασία του εδάφους, την θέση και την κίνηση των αγελάδων ανα πάσα ώρα και στιγμή και την ύπαρξη χλωρίδας στο χώρο (με τη χρήση ενσωματωμένων καμερών).

Σκοπός των ερευνητών ήταν να συλλέξουν δεδομένα για την υγρασία του εδάφους, να δημιουργήσουν ένα προφίλ για την υγρασία του εδάφους ολόκληρης της έκτασης, να παρατηρήσουν τις κινήσεις και τη συμπεριφορά των αγελάδων και να παρακολουθήσουν την ύπαρξη και την κατάσταση της χλωρίδας του χωραφιού.

Η μελέτη είχε ως αποτέλεσμα την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για την αποδοτικότερη διαχείριση του κοπαδιού με όσο το δυνατόν μικρότερη φυσική παρουσία του κτηνοτρόφου στο χώρο που βόσκουν οι αγελάδες.

4.3. Μελέτη εφαρμογής WSN για αιεφόρες πρακτικές καλλιέργειας.

Η συγκεκριμένη μελέτη πραγματοποιήθηκε στην Ινδία, με σκοπό να σχεδιαστεί μία «μέθοδος», κατά την οποία θα χρησιμοποιούνται τα δεδομένα που παρέχονται από τους αισθητήρες του WSN και θα αξιοποιούνται κατάλληλα και αποδοτικά έτσι ώστε να λαμβάνονται αποφάσεις για αιεφόρες πρακτικές καλλιέργειας. (Panchard, Rao, Prabhakar, Jamadagni & Hubaux, 2006). Η αρχιτεκτονική του δικτύου που στήθηκε περιλαμβάνει αρκετά στάδια ανάλυσης των δεδομένων. Η ανάλυση και η επεξεργασία των δεδομένων, γίνεται με το εργαλείο αποφάσεων CSN (Common Sense Network).

Το δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε, μπορούσε να υποστηρίξει 7 – 25 αισθητήρες που επικοινωνούν με το πρωτόκολλο επικοινωνίας Berkeley Mote. Οι αισθητήρες αποστέλλουν δεδομένα, με ρυθμό ανά 1 λεπτό, ενώ τροφοδοτούνται με ενέργεια από απλές μπαταρίες.

Ευθύνη των αισθητήρων αποτελεί η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, της ημερήσιας βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας, της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου και της ημερήσιας ηλιοφάνειας.

Οι ερευνητές, ήθελαν να συλλέξουν κυρίως δεδομένα που να προβλέπουν την υγρασία του εδάφους και δεδομένα, ώστε να διατηρήσουν τον υδροφόρο ορίζοντα, κάνοντας

οι αγρότες πιο σωστή διαχείριση νερού κατά το πότισμα. Επιπλέον, ασχολήθηκαν και με τη συσχέτιση όλων των συλλεγόμενων δεδομένων ώστε να προβλέπουν και να προλαμβάνουν διάφορες ασθένειες.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν, είναι ότι με την χαρτογράφηση των καλλιεργειών, υπάρχει βελτίωση στην παραγωγή της σοδειάς με την χρήση αυτοματοποιημένης συλλογής δεδομένων. Υπάρχει μείωση στο κόστος (λιγότερες ώρες εργασίας και λιγότερος εξοπλισμός). Επίσης, κατόρθωσαν οι ερευνητές να προσδιορίσουν ένα βαθμό σημαντικότητας για κάθε μεταβλητή που μετρήσανε, ώστε να καθορίσουν αιφώρες πρακτικές καλλιέργειας. Τέλος, οι ερευνητές μπόρεσαν μετά τη διεξαγωγή της έρευνας, να δώσουν καλύτερες και πιο ολοκληρωμένες συμβουλές και υπηρεσίες στους καλλιεργητές.

4.4. Μελέτη εφαρμογής WSN σε αμπελώνα.

Η μελέτη αυτήν πραγματοποιήθηκε το 2004 στις Η.Π.Α. σε καλλιέργειες σταφυλιών με διαφορετικές ποικιλίες (Beckwith, Teibel & Bowen, 2004). Στόχος της μελέτης, ήταν να γίνει απεικόνιση της θερμότητας και του ψύχους σε κλιματικούς χάρτες. Οι ασύρματοι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη, ήταν υπεύθυνοι για την μέτρηση της θερμοκρασίας κάθε στιγμή.

Ο αριθμός των κόμβων – αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν 65 και επικοινωνούσαν μεταξύ τους με πρωτόκολλο επικοινωνίας 3V (Berkeley Mote) σε ραδιοσυχνότητες 916 MHz. Οι αισθητήρες είχαν την ευθύνη να αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγανε ανα 5 λεπτά ενώ η λήψη δεδομένων απο αυτούς γινόταν κάθε στιγμή απο το περιβάλλον. Τέλος, οι αισθητήρες τροφοδοτούνταν με ενέργεια απο απλές μπαταρίες.

Η μέθοδος που ακολούθησαν οι ερευνητές ήταν να συγκεντρώσουν στην περίοδο μελέτης τους, το σύνολο των ημερών που η μέση θερμοκρασία που μετρήθηκε ήταν μεγαλύτερη των 10 °C καθώς επίσης και η δημιουργία προφίλ για το ψύχος.

Αποτέλεσμα – συμπέρασμα της μελέτης ήταν η αποτελεσματική δημιουργία χαρτών που να απεικονίζουν τη θερμότητα και το ψύχος. Αυτό έχει ως συνέπεια λιγότερες ανθρωπόρες και τεχνολογικό εξοπλισμό για την παρακολούθηση και μέτρηση αυτών των κρίσιμων μεταβλητών, για τη σωστή ανάπτυξη των σταφυλιών και την αποφυγή ζημιών απο ασθένειες και περιβαλλοντικές καταστροφές (π.χ. χαλάζι).

Συμπεράσματα.

- Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μία σημαντική τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης που διεισδύουν συνεχώς όλο και πιο πολύ στην καθημερινότητά μας.
- Τα WSNs δίκτυα, είναι ιδανικά για την εξ αποστάσεως μέτρηση διαφόρων μεγεθών – μεταβλητών σε χωράφια ή φάρμες ή βοσκοτόπους.
- Υπάρχουν αρκετές προκλήσεις και απαιτήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψιν κατά τη φάση του σχεδιασμού ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων.
- Το κυριότερο πρόβλημα που εμφανίζεται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι αυτό της διαχείρισης και κατανάλωσης ενέργειας απο τους κόμβους.

Πρόταση για μελλοντική έρευνα.

- Το κύριο θέμα που επιδέχεται περαιτέρω έρευνα και μελέτη είναι η εύρεση και δημιουργία νέων, καλύτερων πρωτοκόλλων που να διαχειρίζονται καλύτερα την ενέργεια και την κατανάλωσή της απο τους ασύρματους κόμβους, δίνοντας έτσι ακόμη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο δίκτυο και αποτρέποντας το, απο πιθανή

δυσλειτουργία σε περίπτωση που κάποιος αισθητήρας τεθεί εκτός λειτουργίας. Ήδη, οι έρευνες πάνω σε αυτό το θέμα πραγματοποιούνται και εξελίσσονται διαρκώς.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramanian Y. & Cayirci E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, VOL.38, NO 4, pp 393-422.

Baggio A., (2005). Wireless sensor networks in precision Agriculture. Paper presented at ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN 2005). Stockholm, Sweden.

Beckwith R., Teibel D. & Bowen P. (2004). Unwired Wine: Sensor Networks in Vineyards. Paper presented at IEEE Sensors Conference, Vienna, Austria.

Bhattacharyya R., Di Leo C., Floerkemeier C., Sarma S. & Anand L. (2010). RFID tag antenna based temperature sensing using shape memory polymer actuation. Paper presented at 2010 IEEE Sensors, Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology.

Costa A., Mentasti T., Guarino M., Leroy T. & Berckmans D. (2007). Real time monitoring of pig activity: practical difficulties in pigs behavior labeling. Paper presented at 3rd European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF). Skiathos, Greece.

Fajar M., Nakanishi T., Tagashira S. & Fukuda A. (2010). Introducing Software Product Line Development for Wireless Sensor/Actuator Network Based Agriculture Systems. Paper presented at AFITA2010 International Conference, The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production System and Commerce. Japan.

Gupta A. & Thangjam S. (2012). ZigBee Based Remote Sensing and Controlling with Communication Re-link Algorithm. *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, VOL1, No 42, p.p. 1097-1102.

Huircan J.I., Munoz C., Young H., Von Dossow L., Bustos J., Vivallo C. et al. (2010). ZigBee – based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, VOL.74, No 2, p.p. 258-264.

Katsalis K, Xenakis A, Kikiras P & Stamoulis G. (2007). Topology optimization in Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture Applications. Paper presented at International Conference on Sensor Technologies and Applications. Volos.

Keshtgary M. & Deljoo A. (2012). An Efficient Wireless Sensor Network for Precision Agriculture. *Canadian Journal on Multimedia and Wireless Networks*, VOL.3, No.1, p.p. 1-5.

Panchard J., Rao S., Prabhakar T.V., Jamadagni H.S. & Hubaux J. (2007). COMMON-Sense Net: Improved Water Management for Resource – Poor Farmers via Sensor Networks. *Information Technologies and International Development*, VOL 4, No 1, p.p. 51-67.

Ramesh K & Somasundaram K. (2011). A COMPARATIVE STUDY OF CLUSTERHEAD SELECTION ALGORITHMS IN WIRELESS SENSOR NETWORKS. *International Journal*

of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES), VOL.2, NO.4.

DOI: 10.5121/ijcses.2011.2411.

Riedel T. & Net M. (2004 , April/May). Self – organizing ,Wireless Sensor Networks. REMOTE Site & Equipment Management.

Retrieved from <http://www.remotemagazine.com/images/millennialnet.pdf>

Ruiz-Garcia L., Lunadei L., Barreiro P. & Robla I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. Sensors – Open Access Journal. VOL 9, NO 6, p.p.4728-4750. DOI: 10.3390/590604728.

Shinghal K., Noor A., Srivastava N. & Singh R. (2011). INTELLIGENT HUMIDITY SENSOR FOR – WIRELESS SENSOR NETWORK AGRICULTURAL APPLICATION. International Journal of Wireless & Mobile Networks. VOL 3, No 1, p.p. 118-128. DOI: 10.5121/ijwmn.2011.3111.

Stankovic J. (2006). Wireless Sensor Networks. (BP America Professor, University of Virginia, Virginia). Retrieved from <https://www.cs.virginia.edu/~stankovic/psfiles/wsn.pdf>.

Wang N., Zhang N. & Wang M. (2006). Wireless sensors in agriculture and food industry – Recent development and future perspective. Computers and Electronics in Agriculture, VOL.50, No 1, pp 1-14.

Wark T., Corke P., Sikka P., Klingbeil L., Guo Y., Crossman C, et al. (2007). Transforming agriculture through pervasive wireless sensor networks. Pervasive Computing, IEEE. Vol 6, NO 2, p.p. 50-57.

Zhang Q., Yang X., Zhou Y., Wang L. & Guo X. (2007). A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology. Journal of Zhejiang University SCIENCE A, VOL 8, No 10, p.p. 1584-1587.

Μπαλτάς Ε. (2006). ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ. ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΖΗΤΗ.

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: <http://www.academicjournals.org/sre/fulltext/2011/30Nov/Arshad%20et%20al.htm>

Σχήμα 2: Fajar M., Nakanishi T., Tagashira S. & Fukuda A. (2010). Introducing Software Product Line Development for Wireless Sensor/Actuator Network Based Agriculture Systems. Paper presented at AFITA2010 International Conference, The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production System and Commerce. Japan.

Σχήμα3: <http://fosstrak.wordpress.com/2010/09/23/llrp-commander-applications-rfid-based-sensing/>

Σχήμα4: <http://fosstrak.wordpress.com/2010/09/23/llrp-commander-applications-rfid-based-sensing/>

Σχήμα5: Shinghal K., Noor A., Srivastava N. & Singh R. (2011). INTELLIGENT HUMIDITY SENSOR FOR – WIRELESS SENSOR NETWORK AGRICULTURAL APPLICATION. International Journal of Wireless & Mobile Networks. VOL 3, NO 1. DOI: 10.5121/ijwmn.2011.3111.

Σχήμα6: http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=2452

Σχήμα7: <http://www.intech.co.nz/products/weathersensors/weathersensors.html>

Σχήμα 8 : <http://research.ict.csiro.au/research/labs/autonomous-systems/pervasive-computing/agriculture>

Σχήμα 9: Costa A., Mentasti T., Guarino M., Leroy T. & Berckmans D. (2007). Real time monitoring of pig activity: practical difficulties in pigs behavior labeling. Paper presented at 3rd European Conference on Precision Livestock Farming (ECPLF). Skiathos, Greece.

Σχήμα10: http://asterix.ist.utl.pt/rmr/WSN/CaseStudies/WSN_in_Agriculture/pae.html

Σχήμα11: http://asterix.ist.utl.pt/rmr/WSN/CaseStudies/WSN_in_Agriculture/pae.html

Εικόνα εξωφύλλου: <http://www.probesrl.net/eng/>

