

Πανεπιστήμιο Μακεδονίας

ΔΠΜΣ Πληροφοριακά Συστήματα

Μάθημα: Δίκτυα Υπολογιστών

Καθηγητής: Α.Α. Οικονομίδης

University Of Macedonia

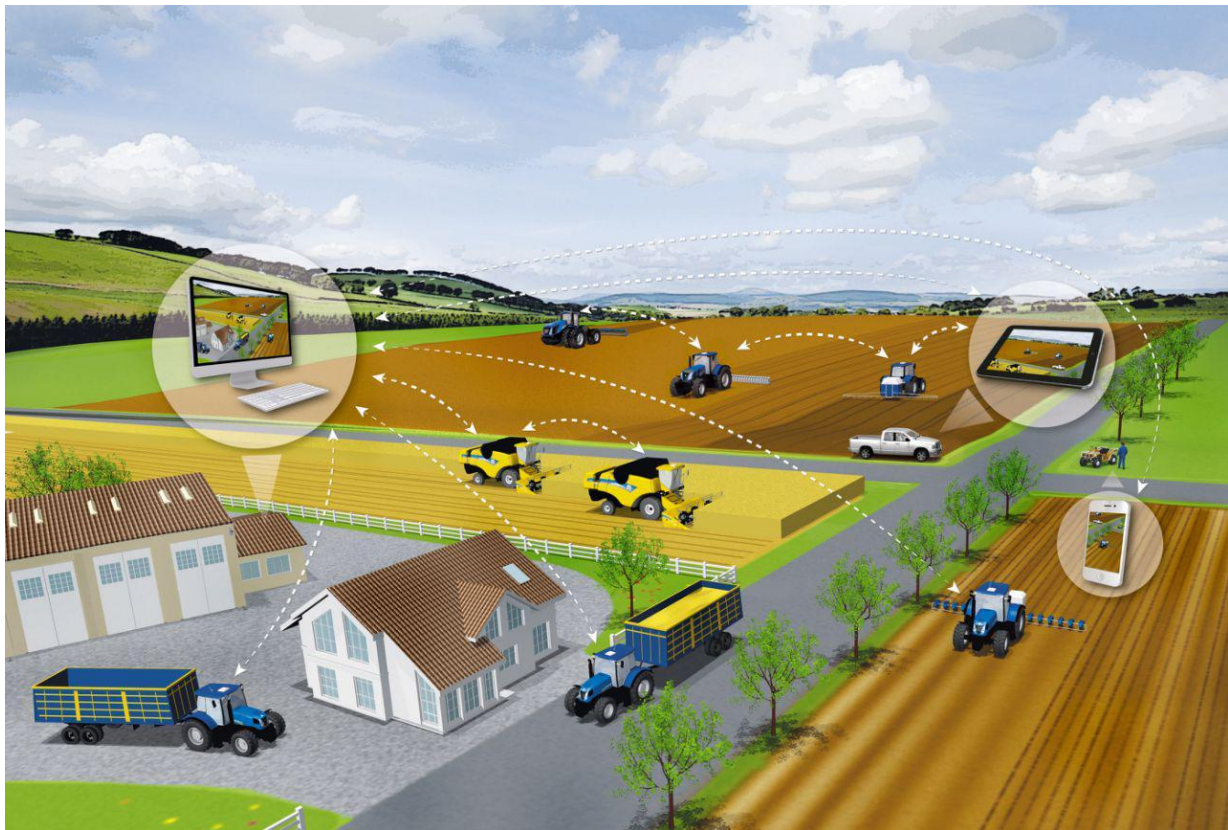
Master in Information Systems

Course: Computer Networks

Professor: A.A. Economides

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

REAL CASES OF WIRELESS SENSOR NETWORKS FOR AGRICULTURE FARMING & CROPS.



Ηλιάδη Αγγελική mis16034

Κωνσταντίνου Μαριάννα mis16025

Κουπριτζιώτη Δήμητρα mis16033

Θεσσαλονίκη, Μάιος 2016

Περιεχόμενα	2
Περίληψη – Abstract	3
Παρουσίαση θέματος	4
1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs)	5
1.1. Περιγραφή Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων.	5
1.2. Αντοχή σφαλμάτων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων.	6
1.3. Πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά στοιχεία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN).	6
1.4. Δομή και αρχιτεκτονική δικτύου.	7
1.5. Αρχιτεκτονική στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.	9
1.5.1. Πρότυπο 802.15.4 και ZigBee και Bluetooth.	9
2. Τύποι αισθητήρων σε Εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας.	10
2.1. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος.	10
2.2. Αισθητήρας άρδευσης ακριβείας.	12
2.3. Αισθητήρες φυτών και ζιζανίων.	13
2.4. Αισθητήρες λίπανσης μεταβλητής παροχής δόσης αζώτου.	14
2.5. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος.	16
3. Πραγματικές μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs στη Γεωργία Ακρίβειας.	16
3.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα.	17
3.1.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Μαγνησία.	17
3.1.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στις Η.Π.Α.	18
3.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι.	20
3.2.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι στο Θεσσαλικό κάμπο.	20
3.2.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι στις Η.Π.Α.	22
4. Συμπεράσματα – προτάσεις για μελλοντική έρευνα.	26
Βιβλιογραφία.	27

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε με στόχο την διερεύνηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στη Γεωργία Ακριβείας. Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική των ασύρματων δικτύων αισθητήρων καθώς και πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται λόγος των διάφορων ειδών αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες και περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας του. Στη συνέχεια στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται εφαρμογές που υλοποιήθηκαν με βάση τη Γεωργία Ακριβείας. Συγκεκριμένα, οι εφαρμογές αφορούν καλλιέργειες αμπελώνα καθώς και βαμβακιού. Τέλος, παρατίθενται συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Abstract

This assignment was devised in order to investigate the wireless sensor networks in precision agriculture. The first chapter presents the architecture of wireless sensor networks, as well as their advantages and characteristics. The second chapter focuses on the various types of sensors used on crops and describes how they work. Then, in the next chapter, there is an analysis of the applications carried out by precision agriculture. Specifically, these applications deal with vineyard crops and cotton. Finally, conclusions and recommendations are provided for future research.

Παρουσίαση θέματος

Η Γεωργία Ακριβείας μπορεί να οριστεί ως η τέχνη και η επιστήμη που χρησιμοποιεί προηγμένη τεχνολογία για την ενίσχυση των καλλιεργειών παραγωγής (Keshtgari and Deljoo 2012). Σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας είναι να μειώσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της καλλιέργειας, να μειώσει δηλαδή την υπερβολική χρήση χημικών και την υπέρμετρη χρήση γεωργικών μηχανημάτων. (Ruiz-Garcia, Lunadei, Barreiro, & Robla, 2009)

Ένα σημαντικό ζήτημα που τίθεται στη γεωργία ακριβείας είναι ο τύπος των παραμέτρων που πρέπει να ανιχνεύεται, η οποία, εκτός από τις τακτικές περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ηλιακή ακτινοβολία, μπορεί να περιλαμβάνουν την υγρασία του εδάφους, ζιζανιοκτόνα και τα φυτοφάρμακα, συστήματα νερού και τροφοδοσίας. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις ανίχνευσης που συμβάλλουν στη συλλογή στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της τηλεπισκόπησης από δορυφόρους και εναέριων αισθητήρων, αυτόνομα κινητά συστήματα και ενσωματωμένα, δικτυωμένων συστημάτων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων ανήκουν στην τελευταία κατηγορία. (Sakthipriya, 2014)

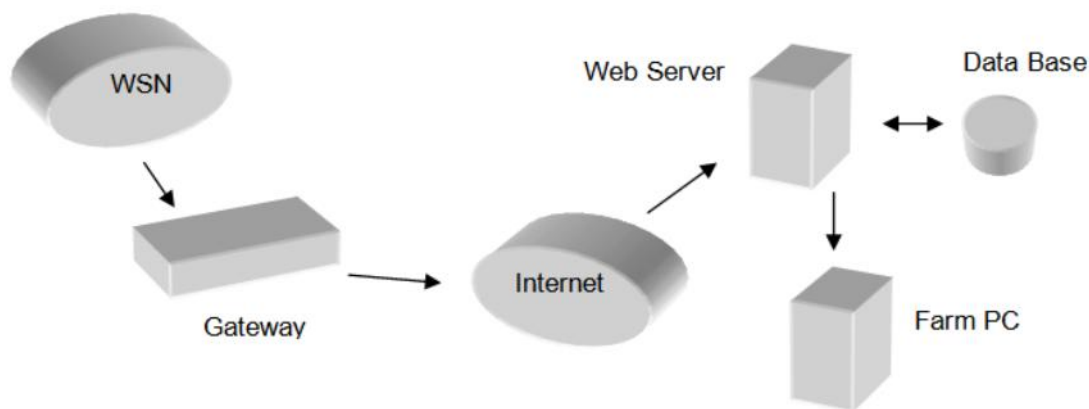
Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ποσότητα, η ποικιλία και η ακρίβεια των πληροφοριών που προέρχονται από τη γεωργία ακριβείας απαιτείται μια ποικιλία αξιόπιστων, υψηλής απόδοσης και οικονομικά αποδοτικών αισθητήρων. Ως εκ τούτου, οι γεωργοί μπορούν να γνωρίζουν άμεσα την κατάσταση της καλλιέργειας σε όλα τα στάδια της, γεγονός που θα διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων σχετικά με το χρόνο της συγκομιδής. (Μακρή, 2011)

Η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN) στα πλαίσια της γεωργίας είναι όλο και περισσότερο κοινή και αποδεσμεύει τον γεωργό από τη διατήρηση της καλωδίωσης σε ένα δύσκολο περιβάλλον. (Μακρή, 2011)

1. Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (WSNs)

1.1. Περιγραφή Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Η ανάπτυξη εφαρμογών WSN στη γεωργία ακριβείας καθιστά δυνατή την αύξηση της αποτελεσματικότητας της κερδοφορίας της φυτικής παραγωγής, την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων με παράλληλη ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην πανίδα και το περιβάλλον. Τα συστήματα γεωργικής παραγωγής, μέσω της χρήσης WSN, παρέχουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο δημιουργώντας ένα μοντέλο λήψης αποφάσεων για τους αγρότες. Το μοντέλο δίνει την ευχέρεια στον χρήστη-γεωργό να προσαρμόσει την στρατηγική οποιαδήποτε χρονική στιγμή υπάρξει ανάγκη. Αντί να λαμβάνει αποφάσεις βασισμένες σε κάποιο υποθετικό μέσο όρο, ο οποίος δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, η προσέγγιση της γεωργίας ακριβείας αναγνωρίζει τις διαφορές και προσαρμόζει τις δράσεις διαχείρισης αναλόγως με τις ανάγκες. (Ruiz-Garcia, Lunadei, Barreiro, & Robla, 2009)



Εικόνα 1. Πρόταση απομακρυσμένης αρχιτεκτονικής τηλεπισκόπησης στη γεωργία ακριβείας

Η πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες, και κυρίως στην τεχνολογία των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων έχουν συντελέσει στην ανάπτυξη πολυ-λειτουργικών αισθητήρων χαμηλής ισχύος και κόστους για να μπορούν να παραχθούν σε μεγάλο αριθμό με στόχο οι πόροι τους να είναι εξαιρετικά μειωμένοι όσον αφορά την ενέργεια, τη μνήμη, το εύρος ζώνης επικοινωνίας και την υπολογιστική τους ικανότητα. Επίσης, είναι σε θέση να αντιδρούν σε μεταβολές φυσικών φαινομένων του περιβάλλοντος, είναι μικρού μεγέθους και ενεργειακά αυτόνομοι και αποτελούνται από επιμέρους τμήματα αίσθησης, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνίας. Οι

αισθητήρες αυτοί μπορούν να επικοινωνήσουν σε σχετικά μικρές αποστάσεις μεταξύ τους και έχουν τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. (Μακρή, 2011; Dargie, and Poellabauer, 2010; Sohraby, Minoli, & Znati,2007)

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN) χρησιμοποιούνται κυρίως για παρατηρήσεις και ελέγχους του φυσικού περιβάλλοντος σε περιπτώσεις όπου η τοποθεσία δεν είναι εύκολα προσβάσιμη. Συνήθως συνίστανται από έναν κεντρικό αποδέκτη και μερικές δεκάδες ή και εκατοντάδες μικρούς περιφερειακούς κόμβους. Οι κόμβοι αυτοί μπορούν να «αισθάνονται» τα φυσικά φαινόμενα, να επεξεργάζονται τα πρωτογενή δεδομένα και να διαμοιράζουν την επεξεργασμένη πληροφορία στους γειτονικούς κόμβους. Το δίκτυο συμπεριφέρεται δηλαδή σαν ένα κεντρικοποιημένο σύστημα με τους κόμβους να είναι κατανεμημένοι και συνεργαζόμενοι. Άρα λοιπόν, τα WSN είναι μια ειδική περίπτωση κατανεμημένου συστήματος – δικτύου, παρόμοιου με συστήματα όπως τα ενσωματωμένα (embedded), τα real-time και τα συστήματα βάσης δεδομένων.

Σε ένα WSN η μετάδοση πληροφοριών από κόμβο σε κόμβο γίνεται ασύρματα είτε με ραδιοσυχνότητες είτε με υπέρυθρες είτε με οπτικές ίνες. Η επιλογή όμως του μέσου μετάδοσης εξαρτάται από την εφαρμογή για την εφαρμογή για την οποία εγκαταστάθηκε. (Sohraby, Minoli, & Znati,2007)

1.2. Αντοχή σφαλμάτων σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Με τον όρο αντοχή σφαλμάτων εννοούμε την ικανότητα που έχει ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων (WSN) να εξακολουθεί να εκτελεί τις λειτουργίες για τις οποίες έχει εγκατασταθεί, παρά τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες που μπορούν να εμφανιστούν σε κάποιο κόμβο ή κόμβους. Προβλήματα μπορούν να προκύψουν είτε από έλλειψη ενέργειας στον αισθητήρα που θα τον θέσει εκτός λειτουργίας, είτε από κάποια φυσική καταστροφή. Η αντοχή σφαλμάτων προσδιορίζεται ανάλογα με τη λειτουργία που το εκάστοτε δίκτυο έχει εγκατασταθεί να εξυπηρετήσει.

1.3. Πλεονεκτήματα και χαρακτηριστικά στοιχεία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSN)

- Το χαμηλό κόστος λόγω έλλειψης καλωδίωσης.

- Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- Η δυνατότητα αυτό-οργάνωσής τους χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης.
- Η μεγάλη ποικιλία των τύπων των αισθητήρων αφού είναι διαθέσιμοι, σεισμικοί, οπτικοί αισθητήρες, θερμικοί, αισθητήρες ακουστικών συχνοτήτων, μαγνητικοί και άλλοι.
- Συχνά μεταβαλλόμενη τοπολογία εξαιτίας της εξασθένησης του σήματος και της αστοχίας των κόμβων.
- Η αυξημένη χωρική πυκνότητα της διάταξης τους, η οποία δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης ανοχής σε σφάλματα.
- Η δυνατότητα λειτουργίας σε ακραίες συνθήκες λόγω της εξέλιξης των μικροηλεκτρικών συστημάτων.
- Multi-hop δρομολόγηση και επικοινωνία περιορισμένου βεληνεκούς.
- Η συνύπαρξη πολλών κόμβων-αισθητήρων σε ένα δίκτυο, η οποία παρέχει υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας και υψηλή ανάλυση επειδή λαμβάνονται μετρήσεις. (Μακρή, 2011)

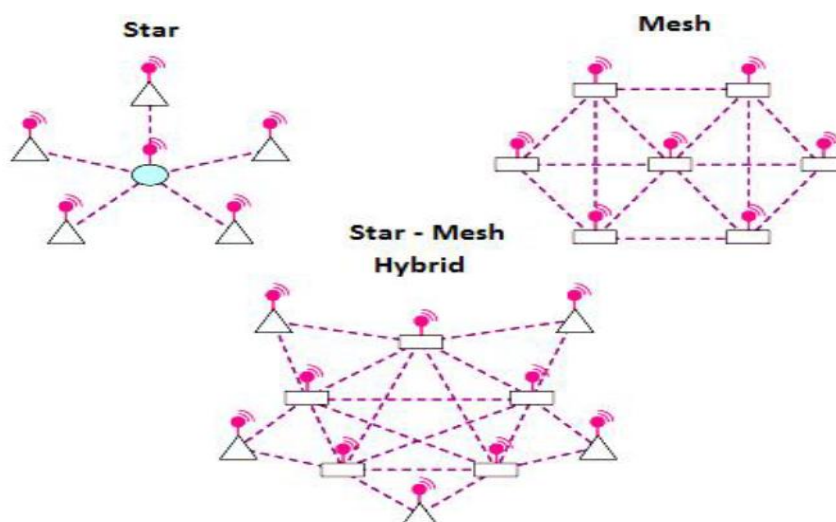
1.4. Δομή και αρχιτεκτονική δικτύου

Οι κόμβοι-αισθητήρες, από τους οποίους απαρτίζεται ένα δίκτυο ασύρματων αισθητήρων (WSN) χωρίζονται σε πηγές (sources) και αποδέκτες (sinks). Πηγή θεωρείται κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο προσφέροντας πληροφορίες, ενώ αποδέκτης η συσκευή που ζητά πληροφορίες. Κατά συνέπεια, σε κάθε WSN όλοι οι κόμβοι αποτελούν πηγές, ενώ υπάρχουν τρεις περιπτώσεις όσον αφορά τον αποδέκτη. Μία περίπτωση είναι:

- ο αποδέκτης να είναι ένας κόμβος του δικτύου
 - Μία άλλη περίπτωση είναι:
- ο αποδέκτης να είναι μία οντότητα που είναι εκτός του δικτύου των αισθητήρων και αλληλεπιδρά με το δίκτυο αναζητώντας πληροφορίες όταν χρειάζεται, όπως για παράδειγμα ένας φορητός υπολογιστής.
 - Η τρίτη περίπτωση είναι:
- ο αποδέκτης να «παίζει» το ρόλο ενός gateway, ο οποίος προωθεί τις πληροφορίες σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο.(Μακρή, 2011)

Οι κόμβοι-αισθητήρες του ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN), πηγές και αποδέκτες, μπορούν να συνδυαστούν και να σχηματίσουν τρία είδη τοπολογίας, τα οποία είναι τα εξής:

- τοπολογία *peer-to-peer (mesh)*, στην οποία ένας κόμβος-πηγή είναι σε θέση να επικοινωνήσει με κάθε γείτονά του, σε αντίθεση με την τοπολογία αστέρα που αναλύεται παρακάτω. Στην τοπολογία αυτή όλοι οι κόμβοι μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας multi-hop μηνύματα, ακόμη και αν δε βρίσκονται εντός εμβέλειας και να υπάρχουν περισσότεροι του ενός αποδέκτες.
- τοπολογία *star-mesh (υβριδική - hybrid)*, στην οποία ο κεντρικός αποδέκτης υφίσταται, όμως το δίκτυο εξαπλώνεται σε μορφή δέντρου, όπου τα κλαδιά του είναι:
 - α) κόμβοι-πηγές που έχουν το ρόλο των τοπικών συντονιστών και
 - β) κόμβοι-φύλλα (end-points) που λειτουργούν όπως στην τοπολογία αστέρα, που αναλύεται παρακάτω. Επιπλέον, το δίκτυο έχει σαφή ιεράρχηση των κόμβων σε αντίθεση με την τοπολογία peer-to-peer όπου το δίκτυο είναι ομότιμο.
- τοπολογία *star*, η οποία αποτελείται από περιφερειακούς κόμβους - πηγές τοποθετημένους γύρω από ένα κεντρικό αποδέκτη. (Μακρή, 2011; Sohraby, Minoli, & Znati,2007)



Εικόνα 2. Είδη τοπολογιών WSNs.

1.5. Αρχιτεκτονική στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Η αρχιτεκτονική του δικτύου των ασύρματων αισθητήρων απαιτεί την ύπαρξη ενός φυσικού επιπέδου (Physical Layer), ενός επιπέδου ζεύξης (Link Layer) πρωτοκόλλων και ενός υπο-επιπέδου MAC. (Μακρή, 2011)

1.5.1. Πρότυπο 802.15.4 και ZigBee και Bluetooth

Το Bluetooth (IEEE 802.15.1) αναπτύχθηκε ως ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας μικρής εμβέλειας στην ασύρματα προσωπικά δίκτυα περιοχής (PAN) ως αντικατάσταση καλωδίου για κινητές συσκευές. Το Bluetooth έχει αρχικά σχεδιαστεί για να μεγιστοποιήσει την ad hoc λειτουργικότητα δικτύωσης. Μερικές από τις κοινές λειτουργίες του είναι το «πέραςμα» και ο συγχρονισμός δεδομένων, π.χ. ανάμεσα σε ένα PDA (προσωπικός ψηφιακός βοηθός) και έναν υπολογιστή, την ασύρματη πρόσβαση σε τοπικά δίκτυα, και τη σύνδεση στο internet. Χρησιμοποιεί συχνότητα-hopping spread-φάσματος (FHSS) επικοινωνίας, η οποία μεταδίδει δεδομένα μέσω διαφορετικών συχνοτήτων σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Το Bluetooth χρησιμοποιεί ένα master-slave με βάση το MAC πρωτόκολλο. (Dargie, and Poellabauer, 2010; Sohraby, Minoli, & Znati, 2007)

Συχνά κυριαρχεί η λάθος αντίληψη ότι το πρότυπο 802.15.4 και το ZigBee είναι ταυτόσημα. Το ZigBee αποτελεί επέκταση της στοίβας πρωτοκόλλων του 802.15.4, αφού υλοποιεί τα επίπεδα δικτύου και εφαρμογών, βασιζόμενο στις υπηρεσίες που προσφέρουν το φυσικό επίπεδο (Physical Layer) και το MAC υπο-επίπεδο του 802.15.4. Η ZigBee Alliance, μια κοινή ομάδα πολλών μεγάλων εταιρειών, εξέλιξε το πρωτόκολλο ZigBee ως ένα πρότυπο πολύ χαμηλής κατανάλωσης, χαμηλού κόστους, ασύρματης και αμφίδρομης επικοινωνίας. (Meeradevi and Mundada, 2015)

Το ZigBee είναι το όνομα της προδιαγραφής για μια συλλογή υψηλού επιπέδου επικοινωνιακών πρωτοκόλλων που έχει ως στόχο τις εφαρμογές ράδιο-συχνοτήτων σε πιο απλή και οικονομική τεχνολογία σε σχέση με άλλα WPANs, όπως το Bluetooth. Σε αντίθεση με το ZigBee, το IEEE 802.15.4 επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα επίπεδα της στοίβας του πρωτοκόλλου, ενώ το ZigBee επικεντρώνεται στην παροχή των

υψηλότερων επιπέδων για τη λειτουργικότητα των δεδομένων δικτύωσης και για υπηρεσίες ασφαλείας. (Meeradevi and Mundada, 2015)

Το πρωτόκολλο ZigBee υποστηρίζει τις τρεις βασικές τοπολογίες του IEEE 802.15.4. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η γρήγορη επαναφορά των συσκευών από κατάσταση sleep, ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η δυνατότητα να υποστηρίξει μέχρι 254 συσκευές σε τοπολογία αστέρα. (Μακρή, 2011)

2. Τύποι αισθητήρων σε Εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας

Στην γεωργία ακριβείας, οι περισσότερες από τις εφαρμογές WSN στοχεύουν στην ακριβή παρακολούθηση της καλλιέργειας (Precision Agriculture) κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής της. Για παράδειγμα, ασύρματα δίκτυα αισθητήρων για την παρακολούθηση της κατάστασης των περιβαλλοντικών συνθηκών με πληροφορίες των θρεπτικών συστατικών του εδάφους εφαρμόζεται για την πρόβλεψη της υγείας των καλλιεργειών και της ποιότητας παραγωγής, της μέτρησης του επιπέδου της υγρασίας, τον έλεγχο της άρδευσης στις καλλιέργειες, της μέτρησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, της μέτρησης της ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου. Αισθητήρες φυτών σε γεωργικές εφαρμογές που περιλαμβάνουν ελεγχόμενη χρήση λιπασμάτων, την παρακολούθηση της ποιότητας των καλλιεργειών, των παρασίτων. (Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2015)

2.1. Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας περιβάλλοντος

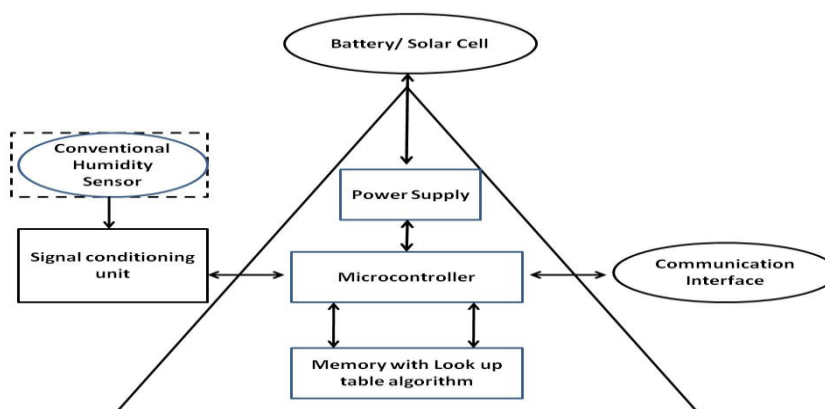
Η υγρασία του εδάφους είναι θεμελιώδους σημασίας στον τομέα της γεωργίας. Με την βοήθεια της παρακολούθησης με χρήση WSN, οι γεωργοί δύνανται να επιτύχουν την προτιμώμενη σε περιεκτικότητα υγρασία των καλλιεργειών. Γνωρίζοντας την περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους, οι γεωργοί προσαρμόζουν τις δραστηριότητές τους για την επίτευξη των καλλιεργειών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης.

Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας του περιβάλλοντος μπορεί να βρει εφαρμογή στην γεωργία ακριβείας, σε αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς καθώς και σε αγρό-μετεωρολογικούς σταθμούς.

Ένας αισθητήρας υγρασίας περιλαμβάνει τρία τμήματα. (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)

- Ένα στοιχείο ανίχνευσης που μετρά την υγρασία.
- Ένα υπολογιστικό στοιχείο που αναλύει τις μετρήσεις που έγιναν από το στοιχείο ανίχνευσης.
- Μια διασύνδεση επεξεργασίας που ενώνεται με τον έξω κόσμο και επιτρέπει στον αισθητήρα να ανταλλάσει πληροφορίες με άλλες μεγαλύτερες συσκευές.

Το διάγραμμα λειτουργίας των τμημάτων ενός αισθητήρα υγρασίας παρουσιάζεται στην εικόνα 3.



Εικόνα 3. Διάγραμμα λειτουργίας αισθητήρα.

Οι αισθητήρες τύπου χωρητικότητας υγρασίας ανιχνεύουν την υγρασία με τη μέτρηση της μεταβολής της ηλεκτροστατικής χωρητικότητας ενός στοιχείου που αντιστοιχεί στην υγρασία του περιβάλλοντος. Μετρητές για την χωρητικότητα της υγρασίας διανέμουν την αξία της χωρητικότητας σε συνάρτηση με την υγρασία του αέρα στην περιοχή γύρω από το στοιχείο μέτρησης. Το στοιχείο ανίχνευσης χωρητικότητας υγρασίας περιλαμβάνει μια μη ευαίσθητη στην υγρασία και μη αγώγιμη δομή από ηλεκτρόδια, μαζί με μια διηλεκτρική επιφάνεια που είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στην υγρασία. Η διηλεκτρική επιφάνεια είναι τοποθετημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφά την υγρασία από το περιβάλλον που βρίσκεται ο αισθητήρας, καλύπτοντας εξωτερικά την μη αγώγιμη δομή. Ένας αισθητήρας υγρασίας τέτοιου τύπου παρουσιάζεται στην εικόνα 4. (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)



Εικόνα 4. Αισθητήρας υγρασίας.

2.2. Αισθητήρας άρδευσης ακριβείας

Η αποτελεσματική διαχείριση του νερού είναι μια σημαντική ανησυχία σε πολλά συστήματα καλλιέργειας. Η σύγχρονη γεωργία απαιτεί ένα βελτιωμένο σύστημα άρδευσης για τη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού στην γεωργία και σε συνδυασμό με την ανησυχητική μείωση του επιπέδου των υπόγειων υδάτων ενισχύεται η ανάγκη για ένα προηγμένο σύστημα άρδευσης. (Ojha, Misra, & Raghuwanshi, 2015)

Στη συνέχεια προσπαθούμε μέσω μιας συνοπτικής περιγραφής να προσδιορίσουμε την διαδικασία ελέγχου άρδευσης: (Shinghal, Noor, Srivastava, & Singh, 2011)

- Ο διακομιστής του κέντρου δεδομένων προσδιορίζει τα δεδομένα υγρασίας από τους αισθητήρες.
- Το σύστημα εφαρμογής της βάσης δεδομένων συγκρίνει τα δεδομένα των εμπειρογνομόνων με δεδομένα υγρασίας σε πραγματικό χρόνο για να προσδιορίσει αν οι καλλιέργειες πρέπει να αρδευτούν, και να αποφασίσει την ποσότητα άρδευσης στην ανά μονάδα περιοχή.
- Σύστημα υποστήριξης λήψης αποφάσεων στέλνει οδηγίες άρδευσης στο σταθμό βάσης για να ορίσει τη θέση και το ποσό άρδευσης.
- Ο σταθμός βάσης στέλνει οδηγίες άρδευσης στο σύστημα ελέγχου άρδευσης.
- Το σύστημα ελέγχου άρδευσης ανοίγει την ηλεκτρονική βαλβίδα στην προσδιοριζόμενη θέση άρδευσης και κλείνει όταν φτάσει στο επιθυμητό όριο άρδευσης.
- Η τοπική άρδευση ολοκληρώνεται, και η παραπάνω διαδικασία κινείται σε κύκλο.



Εικόνα 5. Σύστημα διαχείρισης άρδευσης.

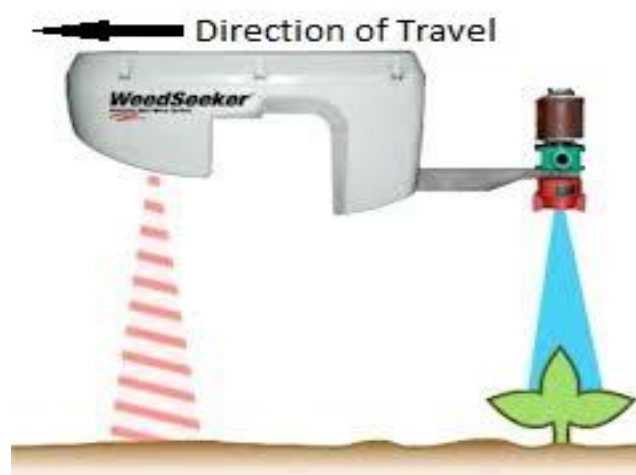
2.3. Αισθητήρες φυτών και ζιζανίων

Ο έλεγχος νόσου των φυτών, τα ζιζάνια και τα έντομα αποτελούν σημαντικούς παράγοντες που επηρεάζουν την υψηλή απόδοση των καλλιεργειών και των προϊόντων υψηλής ποιότητας. Προκειμένου, ο γεωργός να είναι σε θέση να καταστρέψει ένα ζιζάνιο ή να καταπολεμήσει μια ασθένεια πρέπει να έχει την δυνατότητα να τα ανιχνεύει. Τεχνικές ανίχνευσης ζιζανίων και ασθενειών είναι οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές που είτε συνδέονται με το τρακτέρ είτε αποτελούν ανεξάρτητες αυτόνομες μηχανές που εξυπηρετούν το σκοπό αυτό.

Συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις χρησιμοποιούν αισθητήρες για να μετρούν τις ιδιότητες των φυτών και του εδάφους. Τα εμπορικά συστήματα ελέγχου ζιζανίων περιλαμβάνουν φωτονικό σύστημα ανίχνευσης που χρησιμοποιεί ανακλάσεις για τον προσδιορισμό των διαφορών μεταξύ των ζιζανίων και το γυμνό έδαφος. Το **Weedseeker** είναι ένα τέτοιο μηχάνημα που ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι έδαφος καθώς προχωράει στον αγρό. Έτσι επιτυγχάνεται μεγάλη οικονομία στη χρήση ζιζανιοκτόνων. Δουλεύει με τον εξής τρόπο: (Anusha and Shobha, 2015; Thessler, Kooistra, Teye, Huitu, & Bregt, 2011)

- Ένα LED εκπέμπει φως προς το έδαφος.
- Ο ανιχνευτής, ανιχνεύει το ανακλώμενο φως.
- Ψεκάζει μόνο ζιζάνια και όχι γυμνό έδαφος.
- Ένα θάλαμος που οδηγεί στον υπολογιστή.

- Το λογισμικό με μια ζώνη πεδίων εφαρμογής.
- Χάρτης της περιοχής.
- Εξοπλισμό λιπασμάτων.
- GPS μονάδα που παρακολουθεί τοποθεσίες και τομέα.
- Ηλεκτρονική επικοινωνία μεταξύ του θαλάμου-υπολογιστή.
- Οπτικούς αισθητήρες.
- Βαλβίδες και ακροφύσια.
- Αν έχει ανιχνευθεί πράσινο φυτό ενεργοποιείται ηλεκτρονικά η βαλβίδα και γίνεται ψεκασμός με ζιζανιοκτόνο.



Εικόνα 6. Αισθητήρας Weedseeker.

2.4. Αισθητήρες λίπανσης μεταβλητής παροχής δόσης αζώτου

Η διαχείριση του αζώτου στις καλλιέργειες αποτελεί εδώ και πολλές δεκαετίες πεδίο έρευνας και δημόσιας συζήτησης. Προκειμένου, να παρακολουθηθούν οι ανάγκες των φυτών για λίπανση και να ληφθούν σχετικές αποφάσεις εφαρμογής λιπάσματος, πραγματοποιούνται μετρήσεις του φυλλώματος με πολυφασματικούς αισθητήρες.

Η πληροφορία για την εκτίμηση των απαιτήσεων σε άζωτο στηρίχθηκε στο δείκτη χλωροφύλλης, ο οποίος υπολογίζεται από την ανάλυση του φυλλώματος σε δύο φάσματα, το υπέρυθρο και το ορατό φάσμα. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2011)

Πρώτο και βασικό στάδιο στην εκτίμηση των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε άζωτο είναι η παραγωγή ενός χάρτη του δείκτη χλωροφύλλης. Η ποσότητα αζώτου που απαιτείται σε ένα σημείο του αγρού υπολογίζεται από έναν αλγόριθμο, ο οποίος λαμβάνει υπόψη το δείκτη χλωροφύλλης στο στάδιο της ανάπτυξης της καλλιέργειας. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2011)

Η πιο σύγχρονη μέθοδος χρήσης των αισθητήρων φυλλώματος για τη λίπανση είναι η χρήση τους σε συστήματα μεταβλητής παροχής του αζώτου για λίπανση σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από: (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2015)

- Πολυφασματικούς αισθητήρες ικανούς να μετρούν δείκτες βλάστησης, όπως αυτός του δείκτη χλωροφύλλης(CI).
- Σύστημα καταγραφής/διαχείρισης δεδομένων με ειδική λειτουργία απόκρισης αζώτου που ελέγχει πλήρως ειδικό εφαρμογέα για την εφαρμογή της μεταβλητής αζωτούχου λίπανσης.
- Ειδικός λιπασματοδιανομέας που λιπαίνει ανάλογα των εντολών που δέχεται από το σύστημα καταγραφής/διαχείρισης δεδομένων.
- Ένα διαφορικό σύστημα GPS ικανό να παράγει υψηλής ακρίβειας χάρτες, όπως δείκτη χλωροφύλλης, απαιτήσεων σε άζωτο ή εισροών αζώτου.

Η λίπανση πραγματοποιείται από το σύστημα ως εξής: οι φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες εφαρμόζονται σε τρακτέρ και σαρώνουν/συλλέγουν την ακτινοβολία που ανακλάται από τη φυλλική επιφάνεια από μια σταθερή απόσταση 60 cm, από τρία μήκη κύματος (ερυθρό, υπέρυθρο, εγγύς υπέρυθρο) σε στάδιο της καλλιέργειας που αντιστοιχεί σε πρώιμο στάδιο της καμπύλης πρόσληψης του αζώτου. Η βέλτιστη χρονική στιγμή που πρέπει να αρχίσουν οι σαρώσεις είναι αντικείμενο της έρευνας για κάθε περιοχή και τύπο εδάφους και συνήθως ξεκινά στα στάδια ανάπτυξης. Τα δεδομένα ανάκλασης μετατρέπονται σε πραγματικό χρόνο σε δείκτη χλωροφύλλης και απαίτησης σε άζωτο, ενώ με ειδική λειτουργία «απόκρισης αζώτου» ειδικός ρυθμιστής «οδηγεί» τη λειτουργία ενός ειδικού λιπασματοδιανομέα που μεταβάλλει χωρικά τις ποσότητες του αζώτου που εφαρμόζονται ανάλογα των αναγκών των φυτών. Κατά τη διαδικασία της εφαρμογής

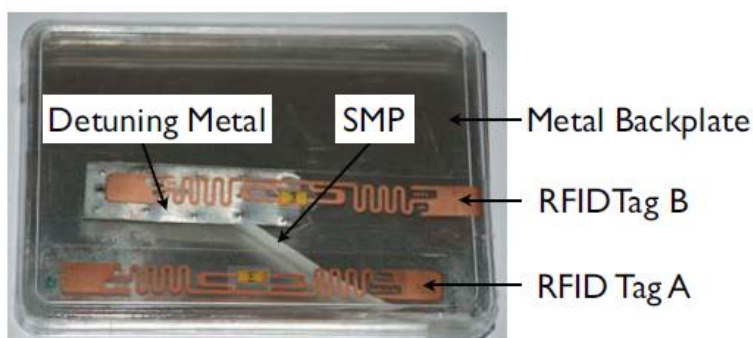
επιφανειακών λιπάνσεων με το σύστημα μεταβλητής παροχής παράγονται ταυτόχρονα θεματικοί χάρτες ανάκλασης της ακτινοβολίας των φυτών, απαίτησης της καλλιέργειας σε άζωτο και πραγματικών ποσοτήτων εφαρμογής. (Ευαγγέλου και Τσαντήλας, 2015)

2.5. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι ένας ακόμη εξίσου σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αποδοτικότητα των καλλιεργειών. Μέσω της τεχνολογίας της Γεωργίας Ακρίβειας, γίνεται προσπάθεια με την ανάπτυξη αισθητήρων να προβλεφθεί η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και να αποφευχθούν ενδεχόμενες ζημιές στις καλλιέργειες.

Στη συνέχεια, αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας ενός αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας: [Bhattacharyya, Di Leo, Floerkemeier, Sarma & Anand, 2010]

- 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 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.



Εικόνα 7. Αισθητήρας θερμοκρασίας.

3. Πραγματικές μελέτες περιπτώσεων χρήσης WSNs στη Γεωργία Ακρίβειας.

Η εφαρμογή αποτελεί το τελευταίο στάδιο για την ολοκλήρωση του κύκλου της Γεωργίας Ακρίβειας. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη λήψη εντολών από αισθητήρες. (Morgan, 1995)

Για την εφαρμογή γεωργίας ακριβείας, χρειάζεται να συλλέξουμε δεδομένα, όπως είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους και να τα επεξεργαστούμε με τη συμμετοχή γεωπόνων και κατάλληλων λογισμικών. Μετά τη μελέτη εφαρμόζουμε τα όσα είδαμε στο χωράφι και τέλος αξιολογούμε τα αποτελέσματα της εφαρμογής μας.

Για να γίνουν στη πράξη οι εφαρμογές, πρέπει να ελεγχθούν πρώτα τα φυτά στα οποία πρόκειται δοκιμαστούν οι εφαρμογές, ώστε να βρεθεί κάποιο χαρακτηριστικό του φυτού, που να δείχνει την ύπαρξη παραλλακτικότητας της παραγωγής. (Λιάκος, 2013)

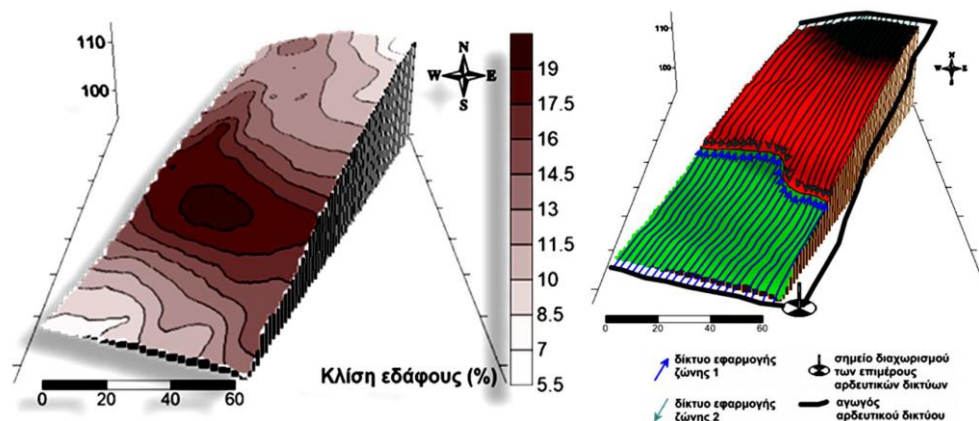
Μέχρι σήμερα Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας έχουν πραγματοποιηθεί σε πολλά και διαφορετικά είδη φυτών και καλλιεργειών. Μερικά από αυτά που θα αναλύσουμε είναι οι εφαρμογές σε αμπελώνες, στο βαμβάκι.

3.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε απελώνα

3.1.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στη Μαγνησία

Όλες οι εφαρμογές που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, έχουν δείξει υψηλή παραλλακτικότητα. Θα αναλύσουμε την εφαρμογή που έλαβε χώρα το 2014 στη περιοχή Μικροθηβών στη Μαγνησία. Για την εφαρμογή αυτή έγιναν αρχικά διάφορες μετρήσεις, όπως της παραλλακτικότητας της παραγωγής και των ποιοτικών χαρακτηριστικών, του εδάφους (αναλύσεις δειγμάτων, καθώς και μέτρηση του βάθους του εδάφους), μετρήσεις NDVI. Ο NDVI είναι δείκτης βλάστησης που χρησιμοποιείται στη χαρτογράφηση της παραλλακτικότητας των ιδιοτήτων του φυλλώματος. Στην αμπελουργία έχει σχετιστεί με τη ποιότητα των σταφυλιών (Bramley, Pearse, & Chamberlain, 2003; Best, Leon, & Claret, 2005). Άλλες μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν είναι οι μετρήσεις των φυσιολογικών χαρακτηριστικών του φυτού, όπως η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, ώστε να εξορθολογιστεί η εφαρμογή νερού. Οι παραπάνω μετρήσεις βοήθησαν στη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Στο έδαφος, οι μετρήσεις φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας έγιναν με αισθητήρα EM 38 (Geonics). Ο αισθητήρας EM 38 συνδέεται είτε με σειριακό καλώδιο RS-232, είτε με ασύρματη τεχνολογία Bluetooth.

Η συλλογή δεδομένων γίνεται από ένα σύστημα συλλογής δεδομένων (Data Acquisition System), το DAS70 – AR. Η φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα επηρεάζεται από την υγρασία του εδάφους και βοηθάει στο διαχωρισμό του εδάφους σε ζώνες.

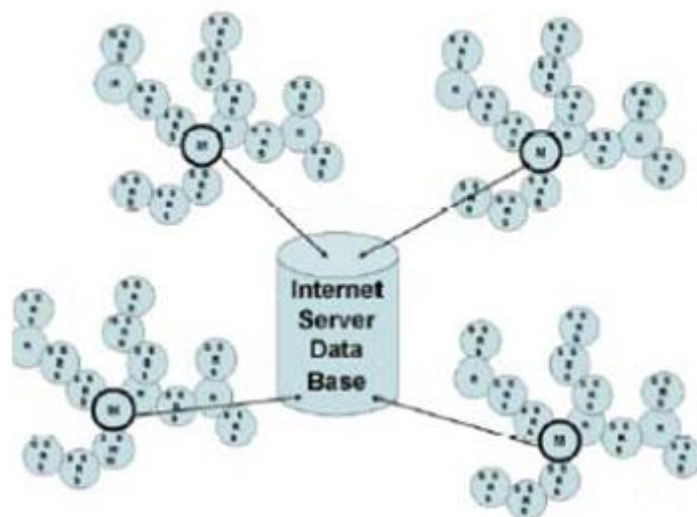


Εικόνα 8. Χάρτης ανάγλυφου του εδάφους του αμπελώνα που δείχνει την κλίση του και διαχωρισμός του δικτύου

Στο γεωργικό ελκυστήρα τοποθετήθηκε laser που σάρωσε τα πρέμνα πριν και μετά το κλάδεμα. Το πότισμα του αμπελώνα πραγματοποιήθηκε με σύστημα στάγδην άρδευσης (σύστημα κλειστών σωληνωτών αγωγών στους οποίους το νερό ρέει υπό πίεση) με έναν κεντρικό αγωγό στο πάνω μέρος του αγροτεμαχίου και στους σταλλακτηφόρους σωλήνες κατά μήκος της κλίσης. Σύμφωνα όμως με τη σύνθεση του εδάφους το κατώτερο τμήμα του αγρού είχε βαρύτερο έδαφος και το ανώτερο ελαφρότερο με αποτέλεσμα το σύστημα στάγδην άρδευσης να εφαρμόζει μεγαλύτερο βάθος νερού στο κατώτερο τμήμα. Έτσι έγινε διαχωρισμός του δικτύου σε δύο μέρη, ώστε να ποτίζονται ξεχωριστά με βάση τις ανάγκες τους. Αυτό έδωσε σαν αποτέλεσμα την εξοικονόμηση νερού και ενέργειας στο 20%. (Ταγαράκης, 2014)

3.1.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε αμπελώνα στις Η.Π.Α

Καθώς το αμπέλι κινδυνεύει και από παγετούς, ακόμα και τους ανοιξιάτικους μήνες, έχει εφαρμοστεί δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για την αποφυγή της ζημιάς.



Εικόνα 9. Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων κατανεμημένο σε απομακρυσμένα μέρη με σύνδεση μέσω διαδικτύου.

Η τοπολογία που χρησιμοποιεί η εφαρμογή, είναι ένα κατανεμημένο σύστημα, που υπάρχει ένας κύριος διαχειριστής, server, στον οποίο συνδέονται δίκτυα αισθητήρων που ακολουθούν τυπική τοπολογία Star.

Οι ασύρματοι κόμβοι αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν μετράνε τη θερμοκρασία, τη ταχύτητα, την υγρασία και τη διεύθυνση του αέρα, την υγρασία εδάφους και της επιφάνειας των φύλλων και την ατμοσφαιρική πίεση.

Το πλήθος των κόμβων είναι 300 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε 900MHz, FSHH radio. Η επικοινωνία με το Server είναι TCP/IP. Ο ρυθμός λήψης και αποστολής δεδομένων είναι 1 και 15 λεπτά αντίστοιχα. Οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με ενέργεια με μπαταρίες και Φ/Β Πάνελ.

Από τους αισθητήρες δημιουργήθηκε το προφίλ της θερμοκρασίας και των υπόλοιπων μεταβλητών που αναφέρθηκαν, σε όλη τη διάρκεια του 24ώρου. Στη συνέχεια έγινε συσχετισμός των μεταβλητών για να διαπιστωθεί η πιθανότητα παγετού ή ακόμα και ξηρασίας, έτσι ώστε τελικά να ενεργοποιηθούν οι μέθοδοι αντιστάθμισης (θέρμανση, άρδευση) όταν και όπου χρειάζεται.

Το αποτέλεσμα που προέκυψε ήταν οικονομία στα καύσιμα, σε εργατικό δυναμικό και σε τυχόν ζημιές των μηχανημάτων, καθώς η συλλογή των παραπάνω δεδομένων έγινε αυτόματα από το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. (Pierce and Elliot, 2008)

Η εφαρμογή νέων τεχνολογιών και μεθόδων, δίνει στους οινοπαραγωγούς τη δυνατότητα να βελτιστοποιήσουν τα συστήματα παραγωγής με βάση τις τεχνικές και οικονομικές πτυχές της διαχείρισης, καθώς και των περιβαλλοντικών ζητημάτων που προκύπτουν. Σε αυτή τη βελτίωση ανήκει η σωστή διαχείριση για βελτιστοποιημένη χρήση λιπασμάτων και άρδευσης στους αμπελώνες. (Taylor, Tisseyre, & Praat, 2005)

3.2. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι

3.2.1. Μελέτη εφαρμογής WSNs σε βαμβάκι στο Θεσσαλικό κάμπο

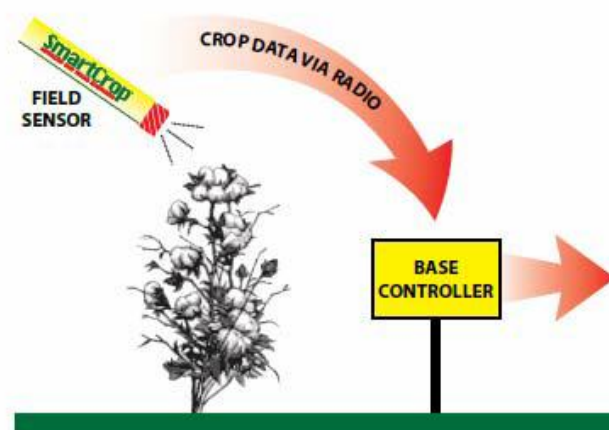
Η συγκεκριμένη εφαρμογή στο βαμβάκι πραγματοποιήθηκε από το HydroSense σε διάστημα 2 ετών, ξεκινώντας από το 2010 και ολοκληρώθηκε το 2012. Επιλέχθηκε ο Θεσσαλικός Κάμπος, καθώς αποτελεί σημαντική περιοχή αγροτικής παραγωγής στη χώρα μας, ενώ το βαμβάκι αποτελεί μία από τις κυριότερες καλλιέργειες της περιοχής.

Αρχικά, ο αγρός χωρίστηκε σε τμήματα ανάλογα τις οργανικές ουσίες του εδάφους και στη συνέχεια δέχτηκε νερό και λίπασμα με βάση τις ανάγκες του κάθε τμήματος. Στο επόμενο βήμα τοποθετήθηκε ένα μόνιμο δίκτυο ασύρματων υπέρυθρων αισθητήρων και αισθητήρων υγρασίας εδάφους σε κάθε τμήμα του αγρού. Οι αισθητήρες συνέλεξαν τιμές από την επιφάνεια των καλλιεργειών και με βάση τις τιμές και τις τοπικές καιρικές συνθήκες δημιουργήθηκε από το σύστημα ένας ηλεκτρονικός χάρτης, ο οποίος δείχνει συγκεκριμένα τα σημεία που τα φυτά χρειάζονται νερό.

Παρόμοια χρησιμοποιήθηκαν και αισθητήρες για να υπολογίσουν το λίπασμα που χρειάζεται. Χρειάστηκαν 2 φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες, οι οποίοι υπολόγισαν τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης στα φύλλα του φυτού αλλά και σε όλο τον αγρό. Τέλος στην εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν και ειδικές παγίδες για έντομα (Weedseeker), καθώς και μηχανήμα που χρησιμοποιήθηκε για τη σάρωση των φυτεμένων σειρών και ψέκασε μόνο στα σημεία που υπήρχαν ζιζάνια.

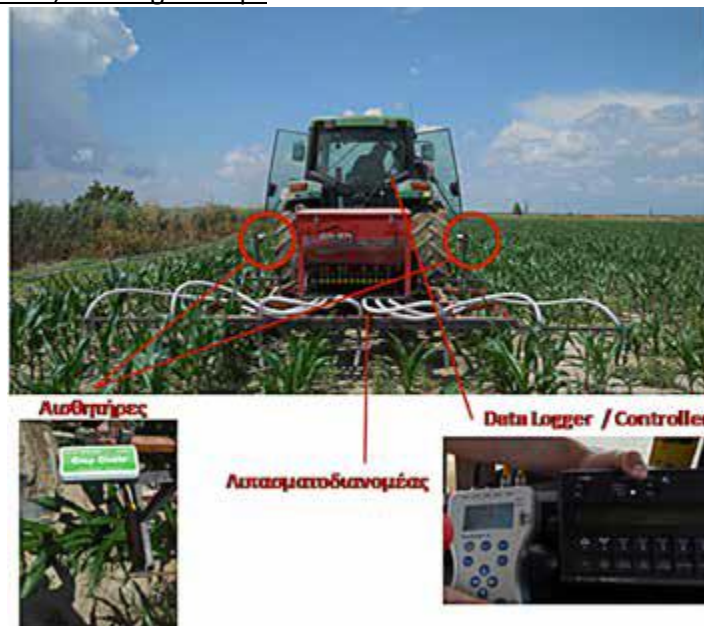
Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για να μετρήσει τις ανάγκες του αγρού σε νερό είναι το SmartCrop. Αποτελείται από 4 αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας για κάθε τμήμα, και ένα σταθμό βάση που έχει πάνω του ενσωματωμένο ένα μίνι μετεωρολογικό σταθμό.

Οι ασύρματοι υπέρυθροι αισθητήρες τοποθετήθηκαν 60 εκατοστά πάνω από τα φυτά της καλλιέργειας και μέσα στη διάρκεια της ημέρας λάμβαναν μετρήσεις, οι οποίες μεταφέρονταν ασύρματα στο σταθμό βάσης και εκεί μαζί και με μετεωρολογικά δεδομένα στέλνονταν μέσω κάρτας SIM στο διαδικτυακό χώρο του συστήματος. Εκεί μέσω λογισμικού γινόταν η επεξεργασία της θερμοκρασίας του αέρα αλλά και γενικά της καλλιέργειας και μαζί με τις κλιματικές συνθήκες έκανε μία συνολική εκτίμηση και καθόριζε πότε χρειαζόταν πότισμα ανά τμήμα. Το σύστημα μπορούσε να ειδοποιήσει το παραγωγό με sms ή email. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες υγρασίας εδάφους και τοποθετήθηκαν σε βάθη 25 και 50 εκατοστών.



Εικόνα 10. Σύστημα Smart Crop.

Για τις ανάγκες του αγρού σε λίπασμα, χρησιμοποιήθηκαν φορητοί πολυφασματικοί αισθητήρες, GPS και συσκευή για καταγραφής των δεδομένων (data logger). Οι αισθητήρες προσαρμόζονται κάθε 15 μέρες στο τρακτέρ, ώστε να μπορούν να σαρώνουν όλο το χωράφι και να συγκεντρώνουν δεδομένα για τα φυτά, όπως το δείκτη χλωροφύλλης που δείχνει το πότε και πόσο λίπασμα χρειάζονται. Οι πολυφασματικοί αισθητήρες συνδέονται με τη συσκευή καταγραφής δεδομένων (data logger) που βρίσκεται πάνω στο τρακτέρ. Εκεί συνδέεται και το GPS ώστε να δίνει τις συντεταγμένες. Τα δεδομένα καταγράφονται σε μορφή excel μέσα στο data logger και αποθηκεύονται σε μία κάρτα SD. Η κάρτα SD αποσυνδέεται από το data logger και εισέρχεται σε κατάλληλες συσκευές για ανάγνωση των δεδομένων.

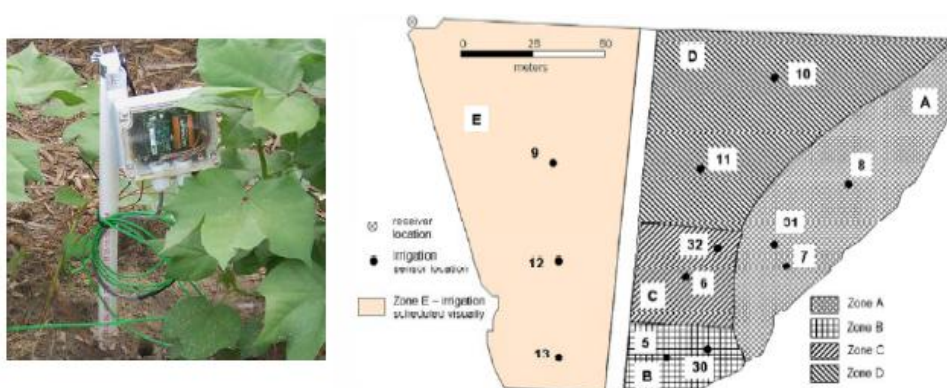


Εικόνα 11. Σύστημα λίπανσης.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω εφαρμογής ήταν η μείωση των εισροών στις πιλοτικές περιοχές του Θεσσαλικού Κάμπου (Γυρτώνη, Ομορφοχώρι, Γεντίκι). Το νερό άρδευσης μειώθηκε κατά 18%, τα αζωτούχα λιπάσματα κατά 35% και τα ζιζανιοκτόνα κατά 62%. Αυτό σημαίνει βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης κατά 26%, 60% και 168% αντίστοιχα. Τα ποσοστά αυτά δείχνουν τα αποτελέσματα της εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους καλλιέργειας. (HydroSense, 2012)

3.2.2 . Μελέτη εφαρμογής WSNs στο βαμβάκι στις Η.Π.Α

Μία ακόμη εφαρμογή στο βαμβάκι πραγματοποιήθηκε στις Η.Π.Α το 2008 με σκοπό το καθορισμό το καλύτερο πότισμα στην καλλιέργεια του βαμβακιού. Χρησιμοποιήθηκε δίκτυο με αισθητήρες υγρασίας εδάφους και αισθητήρες θερμοκρασίας αέρα- εδάφους.



Εικόνα 12. Αριστερά: ασύρματος κόμβος, Δεξιά: Οι ασύρματοι κόμβοι στη καλλιέργεια.

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε αυτή την εφαρμογή ήταν η υγρασία του εδάφους σε 3 βάθη, 0,2-0,4 και 0.6 μέτρα, η ροή του νερού άρδευσης, η θερμοκρασία του αέρα κοντά στο φυτό και η θερμοκρασία εδάφους σε βάθος 0,2 μέτρων.

Το πλήθος των κόμβων που χρησιμοποιήθηκαν είναι 10 και το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το RFID WhereNet, 2.4GHz. Ο ρυθμός αποστολής δεδομένων μεταβάλλεται ανάλογα με τις ανάγκες και οι αισθητήρες τροφοδοτούνται με μπαταρίες.

Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από τη συλλογή των αισθητήρων για να υπολογίσουν το δείκτη κατακράτησης του νερού εδάφους (Soil Water Tension). Ο δείκτης αυτός σε συνδυασμό με τα δεδομένα της θερμοκρασίας εδάφους και αέρα καθόρισαν μία στρατηγική ποτίσματος, μέσω ενός λογισμικού λήψης αποφάσεων (irrigation pro).

Αυτή η εφαρμογή συντέλεσε στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της άρδευσης με το διαχωρισμό σε τμήματα και στην εφαρμογή διαφορετικής στρατηγικής άρδευσης σε κάθε τμήμα, που οδήγησε και στην εξοικονόμηση νερού και ρεύματος. (Vellidis, Tucker, Perry, Kvien ,& Bednarz, 2008)

Στην συνέχεια, παρατίθενται κάποιοι συγκριτικοί και συγκεντρωτικοί πίνακες των εφαρμογών που εξετάστηκαν παραπάνω. Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του ασύρματου δικτύου αισθητήρων στις εφαρμογές αμπελώνα και βαμβάκι στις Η.Π.Α. Αντίστοιχα, στον πίνακα 2 παρουσιάζεται το σύνολο των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στις εφαρμογές.

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά ασύρματου δικτύου αισθητήρων.

Καλλιέργεια	Πλήθος Κόμβων	Πρωτόκολλο Επικοινωνίας	Ρυθμός αποστολής/ λήψης Δεδομένων	Τροφοδοσία Κόμβων
Αμπελώνας Η.Π.Α	300	900MHz, FSHH radio	1λεπτό/15λεπτά	Μπαταρία και Φ/Β Πάνελ
Βαμβάκι Η.Π.Α	10	RFID WhereNet, 2.4GHz	Μεταβολή ανάλογα με τις ανάγκες	Μπαταρία

Πίνακας 2. Αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν στις καλλιέργειες ανά γεωγραφική περιοχή.

Καλλιέργεια	Γεωγραφική Περιοχή	Αισθητήρες							
		Θερμοκρασίας, ταχύτητας, υγρασίας αέρα.	Υγρασίας Εδάφους και επιφάνειας φύλλων	Ατμοσφαιρικής πίεσης.	Σύστημα άρδευσης (Υπέρυθροι)	Θερμοκρασίας εδάφους	Λίπανσης (Πολυφασματικοί)	Ζιζανίων (WeedSeeker)	Ηλεκτρικής αγωγιμότητας EM-38
Αμπελώνας	Μαγνησία (Μικροθήβες)	X	X	X	X				X
	Η.Π.Α	X	X	X	X				
Βαμβάκι	Θεσσαλικός Κάμπος		X		X		X	X	
	Η.Π.Α	X	X		X	X			
Πατάτα	Ινδία	X	X		X				

4. Συμπεράσματα- προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Στη γεωργία ακριβείας έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες εφαρμογής λιπασμάτων, σπόρου, φυτοφαρμάκων και αρδευτικού νερού. Λόγω αυτών των τεχνολογιών εξασφαλίζεται η προστασία του περιβάλλοντος (αφού γίνεται συνετή και όχι άσκοπη χρήση φυτοφαρμάκων), ειδικά του υδροφόρου ορίζοντα. Παρελκόμενα, ευνοείται η αποκατάσταση του οικοσυστήματος και βοηθάται η φυσιολογική ανάπτυξη της χλωρίδας και της πανίδας της περιοχής. Επιπλέον, για την άρδευση έχει παρατηρηθεί:

- Μείωση της κατανάλωσης του νερού άρδευσης έως και 20%.
- Μείωση της βαθιάς διήθησης του νερού (Απώλειες θρεπτικών, νιτρορύπανση κτλ).
- Μείωση του κόστους παραγωγής του αρδευτικού νερού (οικονομικό όφελος για τον παραγωγό).
- Αποφυγή προβλημάτων συσσώρευσης νερού(κακή στράγγιση).
- Καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων.

Με στόχο τη βελτίωση και περαιτέρω ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας μία από τις πιθανές κατευθύνσεις μπορεί να σχετίζονται με την πρόβλεψη ορισμένων καιρικών συνθηκών. Έτσι, για παράδειγμα, αλγόριθμοι εξόρυξης δεδομένων θα μπορούσαν να επιτρέψουν στο σύστημα να παρέχει τοπικές καιρικές προβλέψεις, π.χ. βροχή ή όχι στο άμεσο μέλλον, σύμφωνα με τις τρέχουσες μετρήσεις. Ομοίως, το σύστημα θα μπορούσε να επεκταθεί ώστε να παρέχει προβλέψεις για πιθανές ασθένειες των φυτών. (Sladojevic, Dulic, Jelovac, Edelinski, & Stefanovic, 2015; Kehui, Deqin, & Xiwen, 2010)

Βιβλιογραφία

- Ojha, T., Misra, S., & Raghuwanshi, N.S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computer and Electronics in Agriculture*, 118, 66-84. doi:10.1016/j.compag.2015.08.011
- Shinghal, K., Noor, A., Srivastava, N., & Singh, R. (2011). Intelligent humidity sensor for wireless sensor network agricultural application. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 3, 1. doi:10.5121/ijwmn.2011.3111
- Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., & Robla, J.I. (2009). A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends. *Sensors*, 9, 4728-4850. doi:10.3390/s90604728
- Anusha, P., & Shobha, K. R. (2015). Design and Implementation of Wireless Sensor Network for Precision Agriculture. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science*, 1, 521-527.
- Sakthipriya, N. (2014). An Effective Method for Crop Monitoring Using Wireless Sensor Network. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 20, 1127-1132. doi: 10.5829/idosi.mejsr.2014.20.09.114152
- Thessler, S., Kooistra, L., Teye, F., Huitu, H., & Bregt, A.K. (2011). Geosensors to Support Crop Production: Current Applications and User Requirements. *Sensors*, 11, 6656-6684. doi:10.3390/s110706656
- Kehui, X., Deqin, X., & Xiwen, L. (2010). Smart water-saving irrigation system in precision agriculture based on wireless sensor network. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26, 170-175.

- 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*, 2363 – 2368. doi: 10.1109/ICSENS.2010.5690951
- Ευαγγέλου, Λ., & Τσαντήλας, Χ. (2015). Αισθητήρες φυλλώματος και αζωτούχου λίπανση των καλλιεργειών. *Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών*, 10, 13-15.
- Ευαγγέλου, Λ., & Τσαντήλας, Χ. (2011). Γεωργία Ακριβείας: το μελλοντικό σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων. *Ινστιτούτο Βιομηχανικών και Κτηνοτροφικών Φυτών*, 10, 19-21.
- Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of wireless sensor networks: theory and practice* (1st ed.). United Kingdom. MA: John Wiley and Sons.
- Sohraby, K., Minoli, D., & Znati, T. (2007). *Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols and Applications*(1st ed.). Hoboken. MA: John Wiley and Sons.
- Μακρή, Χ. Α. (2011). Μελέτη Συνύπαρξης Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων και Δικτύων Wi-Fi σε Πραγματικό Περιβάλλον. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Συστημάτων μετάδοσης πληροφορίας και τεχνολογίας υλικών, Αθήνα.
- Dursch, A., Yen, D.C.; & Shih, D.H. (2004). Bluetooth technology: an exploratory study of the analysis and implementation frameworks. *Computer Standards & Interfaces*, 26, 263–277. doi:10.1016/j.csi.2003.12.005

- Keshtgari, M., & Deljoo, A. (2012). A Wireless Sensor Network Solution for Precision Agriculture Based on ZigBee Technology. *Wireless Sensor Network*, 4, 25-30. doi: 10.4236/wsn.2012.41004
- Meeradevi, A.K., Mundada, R.M. (2015). ZigBee Based Wireless Sensor Network in Precision Agriculture - The Survey. *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 4,49-54.
- Morgan, T.M. (1995). Precision Farming: Sensors vs. Map-Based. *Agricultural and Biological Engineering Dept.* Retrieved from:
<https://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/frames/sensors.html>
- Λιάκος, Β. (2013). Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας: Εμπειρίες από εφαρμογές στην Ελλάδα. Retrieved from:
<http://biomass.agr.uth.gr/attachments/article/135/Presentation3-Εφαρμογές%20Γεωργίας%20Ακριβείαςv2.pdf>
- Ταγαράκης, Α. (2014). Γεωργία Ακριβείας σε αμπελώνα (Διδακτορική Διατριβή) Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος.
- Taylor, J., Tisseyre, B., & Praat, J.P. (2005). Bottling Good Information: mixing Tradition and Technology in vineyards. Proceedings of the Fruits and nuts and vegetable production engineering TIC (Frutic05). Conference, Montpellier, p. 719-736.
- Bramley, R.G.V., Pearse, B. & Chamberlain, P. (2003). Being profitable precisely- a case study of precision viticulture from Margaret River. Australian & New Zealand Grape grower & Winemaker – Annual Technical, Issue 473(a), 84-87.

Best, S., Leon, K. & Claret, M. (2005). Use of precision viticulture tools to optimize the harvest of high quality grapes. Proceedings of the Fruits and Nuts and Vegetable Production Engineering TIC (Frutic05) Conference, France.

HydroSense (2012). Καινοτόμες τεχνολογίες ακριβείας για βελτιστοποίηση της άρδευσης και ολοκληρωμένη διαχείριση καλλιεργειών σε περιβάλλοντα έλλειψης νερού. Retrieved from:
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE08_ENV_GR_000570_LAYMAN_EL.pdf

Pierce, F.J., & Elliot, T.V. (2008). Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 32-43.

Vellidis, G., Tucker, M., Perry, C., Kvien, C. & Bednarz, C. (2008). A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61, 44-50.

Sladojevic, S., Dulic, M., Jelovac, P., Edelinski, I., & Stefanovic, D. (2015). One solution of web application for data acquisition from remote sensing devices. *INFOTEH-JAHORINA*, 14, 788-792.