



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών

Διπλωματική Εργασία

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ LORAWAN ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ



Γκουτζιώτη Φωτεινή

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Σταματία Μπίμπη, Επίκουρη Καθηγήτρια Π.Δ.Μ.

Ιούλιος, 2021, Κοζάνη



**University of Western Macedonia
Department of Electrical & Computer Engineering**

Diploma Thesis

**DEPLOYMENT OF LORAWAN NETWORK FOR
PRECISION AGRICULTURE**



Gkoutzioti Foteini

Supervising Professor: Stamatia Bibi, Assistant Professor U.O.W.M.

July, 2021, Kozani

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την διερεύνηση και αξιολόγηση των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων στην Γεωργία Ακριβείας. Κύριος στόχος της εργασίας είναι η υλοποίηση, παρουσίαση και αξιολόγηση ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων, με χρήση του πρωτοκόλλου LoRaWAN, για την παρακολούθηση καλλιέργειας κρόκου Κοζάνης.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων, με σκοπό την εξοικείωση του αναγνώστη με το θέμα. Αναλύονται εκτενώς οι οντότητες ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων, τα πλεονεκτήματα χρήσης των δικτύων και οι περιορισμοί τους, καθώς και οι κατηγορίες τους. Επιπροσθέτως, αναλύεται η αρχιτεκτονική των δικτύων και τα πρωτόκολλα που χρησιμοποιούνται και παρουσιάζονται θέματα ασφάλειας σε αυτά, όπως και οι εφαρμογές στις οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Επιπλέον στο δεύτερο κεφάλαιο προσδιορίζεται και περιγράφεται η έννοια της Γεωργίας Ακριβείας, οι δυνατότητες που παρέχει στον καλλιεργητή, καθώς και οι προκλήσεις που συναντώνται κατά τη χρήση της.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά το πρωτόκολλο LoRa, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος, ενώ στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα που δημιουργήθηκε, καθώς και οι οντότητές του.

Επίσης, στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις καλλιέργειες και παρουσιάζονται τα αποτελέσματά των μετρήσεων. Τέλος, αναφέρονται οι προκλήσεις του συστήματος, καθώς και οι μελλοντικές δυνατότητές του.

Λέξεις κλειδιά: LoRaWAN, Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Γεωργία Ακριβείας, Κρόκος Κοζάνης, Σύστημα Παρακολούθησης Καλλιέργειας

Abstract

This dissertation aims to investigate and evaluate Wireless Sensor Networks in Precision Agriculture. The main objective of the work is the implementation, presentation and evaluation of a Wireless Network of Sensors, using the LoRaWAN protocol, to monitor of Kozani yolk cultivation.

Specifically, in the first chapter, the concept of Wireless Sensor Networks is presented, in order to familiarize the reader with the subject. The entities of a Wireless Sensor Network, the advantages of using networks and their limitations, as well as their categories are extensively analyzed. In addition, the network architecture and the protocols used are analyzed and security issues regarding Wireless Sensors Networks are presented, as well as the applications to which they can be used.

In addition, the second chapter identifies and describes the concept of Precision Agriculture, the potentials it provides to the grower, as well as the challenges encountered during its use.

The third chapter presents the LoRa protocol in detail, which was used for the development of the system, while the fourth chapter presents the system that was created, as well as its entities.

Also, in the fifth chapter, the data collected from the crops are analyzed and the results of the measurements are presented. Finally, the challenges of the system are mentioned, as well as its future possibilities.

Key words: LoRaWAN, Wireless Sensor Networks, Precision Agriculture, Kozani Yolk, Cultivation Monitoring System

Δήλωση Πνευματικών Δικαιωμάτων

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν. 1599/1986 και τα άρθρα 2,4,6 παρ. 3 του Ν. 1256/1982, η παρούσα Διπλωματική Εργασία με τίτλο

“ ΑΝΑΡΤΥΞΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΛΟΓΑΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΣΡΙΒΩΣ ”

καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας και αναφέρονται ρητώς μέσα στο κείμενο που συνοδεύουν, και η οποία έχει εκπονηθεί στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας, υπό την επίβλεψη του μέλους του Τμήματος κ.

ΜΗΛΙΝΗ ΣΙΑΜΑΤΙΑ

αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής εργασίας και δεν προσβάλλει κάθε μορφής πνευματικά δικαιώματα τρίτων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή / και πηγές άλλων συγγραφέων, αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και μόνο.

Copyright (C) Ονοματεπώνυμο Φοιτητή & Επιβλέποντα/ες, Έτος, Πόλη

Copyright (C) ΓΚΟΥΖΙΩΤΗ ΦΩΤΩΝΗ, ΜΗΛΙΝΗ ΣΙΑΜΑΤΙΑ, 2021, ΚΟΖΔΩΜΗ

Υπογραφή Φοιτητή:



Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα	9
1.1 Ορισμός Ασυρμάτων Δικτύων Αισθητήρων	9
1.2 Δικτυακές Οντότητες	9
1.2.1 Κόμβοι	10
1.2.2 Κεντρικός κόμβος πύλη (Gateway)	11
1.2.3 Δικτυακός Δρομολογητής (router).....	12
1.2.4 Εξυπηρετητής Δικτύου(server).....	12
1.3 Πλεονεκτήματα Χρήσης και Περιορισμοί Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	12
1.4 Περιορισμοί Υλικού.....	14
1.5 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	15
1.5.1 Επίγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	15
1.5.2 Υπόγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	16
1.5.3 Υποθαλάσσια Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων.....	17
1.5.4 Multimedia Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων	18
1.5.5 Κινητά Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	19
1.6 Αρχιτεκτονική Ασυρμάτων Δικτύων – Δομή	20
1.6.1 Μοντέλο αναφοράς OSI.....	20
1.6.2 Τοπολογίες Ασυρμάτων δικτύων.....	23
1.7 Τεχνολογίες και πρωτόκολλα στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	26
1.7.1 IEEE 802.11 a/b/g.....	26
1.7.2 IEEE 802.15.1 PAN/Bluetooth.....	27
1.7.3 IEEE 802.15.3 Ultrawideband (UWB).....	28
1.7.4 IEEE 802.15.4 ZigBee	29
1.7.5 IEEE 802.16 WiMax	30
1.7.6 WirelessHART.....	31
1.7.7 LoRaWAN	32
1.8 Ασφάλεια στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.....	34
1.9 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	36
Κεφάλαιο 2 Εισαγωγή στην Γεωργία Ακριβείας.....	40
2.1 Ορισμός και Βασικά Χαρακτηριστικά.....	40

2.2 Συλλογή δεδομένων στην Γεωργία Ακριβείας	41
2.2.1 Αισθητήρες εδάφους	41
2.2.2 Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη	41
2.2.3 Τηλεπισκόπηση	42
2.2.4 Οπτικοί αισθητήρες Μη επανδρωμένων Αεροσκαφών	42
2.2.5 Αισθητήρες εντοπισμού θέσης	43
2.2.6 Μετεωρολογικοί σταθμοί	43
2.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές της Έξυπνης Γεωργίας	44
2.3.1 Χαρτογράφηση αγρού	44
2.3.2 Μελέτη φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους	44
2.3.3 Πρόβλεψη Εισροών καλλιέργειας	45
2.3.4 Ανίχνευση ασθενειών	45
2.3.5 Ανίχνευση ζιζανίων	46
2.3.6 Διαχείριση ποτίσματος	46
2.3.7 Πρόβλεψη και βελτιστοποίηση απόδοσης παραγωγής	47
2.3.8 Αυτόματη πλοήγηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών	47
2.3.9 Ανάλυση και επεξεργασία καλλιεργητικών δεδομένων	47
2.3.10 Ανίχνευση ανεπιθύμητων Ζώων σε καλλιέργειες	48
2.3.11 Ειδοποίηση Καλλιεργητικών κινδύνων	48
2.4. Πλεονεκτήματα χρήσης Γεωργίας ακριβείας	48
2.5 Προκλήσεις	50
2.5.1 Απόκτηση και Χρήση Κατάλληλου Εξοπλισμού	50
2.5.2 Αβεβαιότητα Καλλιεργητών	51
2.5.3 Έλλειψη μοντέλων για τη λήψη αποφάσεων	51
2.5.4 Συμπεράσματα	51
Κεφάλαιο 3: Πρωτόκολλο Επικοινωνίας LoRaWAN	56
3.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRaWAN (τοπολογία και οντότητες)	56
3.1.1 Οντότητες Δικτύου	56
3.1.2 Τοπολογία	57
3.2 Τεχνολογία κωδικοποίησης LoRa	58
3.2.1 Κλάση A – Αμφίδρομες τελικές συσκευές	59
3.2.2 Κλάση B- Αμφίδρομες τελικές συσκευές με προγραμματισμένες θυρίδες λήψης	63

3.2.3 Κλάση C- Συνεχώς ενεργοποιημένες αμφίδρομες τελικές συσκευές	64
3.3 Πλεονεκτήματα τεχνολογίας LoRa.....	65
3.4 Εφαρμογές	66
Κεφάλαιο 4: Εγκαθίδρυση Ασύρματου Δικτύου LoRa.....	67
4.1 Στόχος Μελέτης	67
4.2 Εξοπλισμός	67
4.2.1 LoRiXOneGateway.....	67
4.2.2 Libellium Waspmote.....	72
4.2.3 Αισθητήρες	74
4.2.4 TheThingsNetwork	79
4.2.5 NodeRed	80
4.2.6 SQLDatabase	81
4.3 Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων LoRaWAN.....	82
4.4 Αναλυτική Πορεία Δεδομένων	83
4.4.1 Σύνδεση Lorix (σύμφωνα με Lorix One User Manual):.....	83
4.4.2 TheThingsNetwork	87
4.4.3 Waspmote πλακέτα και αισθητήρες	88
4.4.4 NodeRed	89
4.4.5 phpMyAdmin.....	92
Κεφάλαιο 5: Πειραματική εφαρμογή	95
5.1 Παρατηρήσεις καλλιέργειας Κρόκου Κοζάνης	95
5.2 Τοποθέτηση Εξοπλισμού	97
5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	99
5.4 Παρατηρήσεις και Προβλήματα Συστήματος.	108
5.5 Μελλοντικές εφαρμογές	109
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	110
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	113
Βιβλιογραφία	114

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή στα Ασύρματα Δίκτυα

Τα τελευταία χρόνια, η συνεχής έρευνας στον τομέα της τεχνολογίας και των δικτύων, έχει ως αποτέλεσμα την ραγδαία βελτίωση του τεχνολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στις υπάρχουσες τεχνολογικές εφαρμογές. Το γεγονός αυτό οδηγεί στον εκσυγχρονισμό των υπάρχοντων εφαρμογών, αλλά ταυτόχρονα προκύπτει η ανάγκη για ενσωμάτωση των νέων ευρημάτων στις επιστήμες των υπολογιστών και των δικτύων, οι οποίες αποτελούν κινητήριες δυνάμεις στο κομμάτι της κοινωνίας μας.

Λόγω της σημασίας των επικοινωνιών στη σημερινή κοινωνία, η ανάγκη για βελτίωση των εγκαταστάσεων των δικτύων επικοινωνιών είναι όλο και περισσότερο εμφανής. Επιπλέον, η τάση των εφαρμογών να συγκλίνουν προς ασύρματες επιλογές ανάπτυξης και να αποκλίνουν από τις αντίστοιχες ενσύρματες, οδήγησε στην ανάπτυξη των Ασύρματων Δικτύων στον τομέα των επικοινωνιών, και συγκεκριμένα στην ανάπτυξη Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων, από τα οποία προκύπτει ένα πλήθος από νέες δυνατότητες και εφαρμογές.

1.1 Ορισμός Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Ως Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων ορίζεται ένα δίκτυο το οποίο αποτελείται από ασύρματους κόμβους-αισθητήρες, οι οποίοι βρίσκονται χωρικά κατανεμημένοι σε έναν ορισμένο χώρο[1]. Οι αισθητήρες αυτοί λαμβάνουν και επεξεργάζονται δεδομένα με σκοπό την εκτέλεση συγκεκριμένων ενεργειών, για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Οι κόμβοι αυτοί μεταδίδουν πληροφορίες είτε επικοινωνώντας μεταξύ τους, είτε με ένα κεντρικό κόμβο πύλη (gateway), ο οποίος στη συνέχεια είτε εκτελεί τις απαραίτητες ενέργειες, είτε μεταδίδει τις πληροφορίες στην εκάστοτε διεπαφή δικτύου[2].

1.2 Δικτυακές Οντότητες

Οι δικτυακές οντότητες από τις οποίες αποτελείται ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων, ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία αναπτύσσεται. Τα κύρια συστατικά ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων είναι τα εξής:

1. Κόμβοι του δικτύου

2. Κεντρικός κόμβος πύλη
3. Δικτυακός Δρομολογητής
4. Εξυπηρετητής Δικτύου

1.2.1 Κόμβοι

1.2.1.1 Είδη Κόμβων

Κόμβος συλλογής δεδομένων

Ο κόμβος συλλογής δεδομένων είναι υπεύθυνος για τη λήψη δεδομένων, και την προσωρινή τους αποθήκευση, καθώς και την αποθήκευση των τρεχόντων δεδομένων του αισθητήρα. Επιπλέον τελούν αυτοέλεγχους για τη συντήρησή τους, και παρακολούθηση

Κόμβος δρομολογητής

Ο κόμβος δρομολογητής είναι υπεύθυνος για τη λήψη, μετάδοση και προώθηση πακέτων δεδομένων καθώς και για το συντονισμό των καθηκόντων των κόμβων. Ένας κόμβος μπορεί να είναι ταυτόχρονα συλλογής δεδομένων και δρομολογητής, αναλόγως τις κατασκευαστικές προδιαγραφές του.

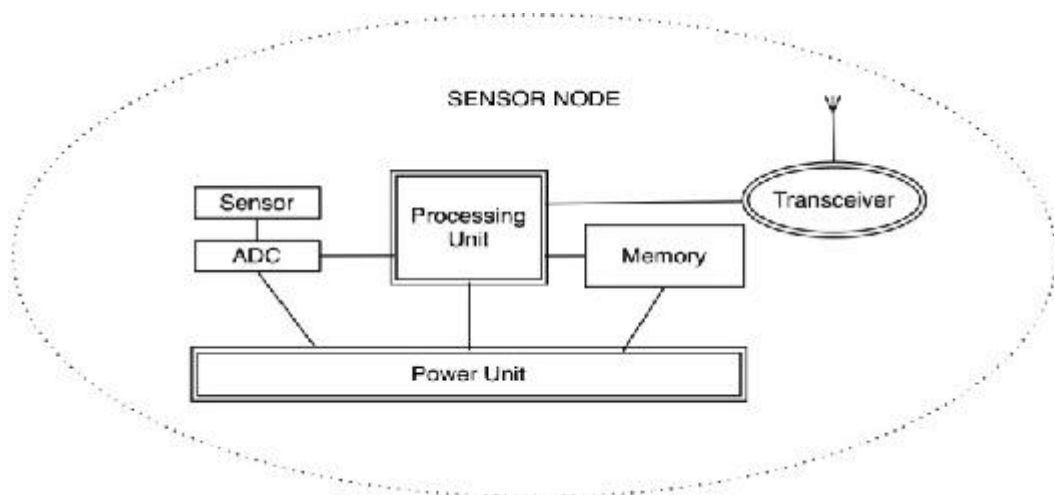
Κόμβος εξυπηρετητής

Ο κόμβος εξυπηρετητής είναι υπεύθυνος για την αποθήκευση των δεδομένων, και ανάλογα με τις προδιαγραφές του δικτύου στο οποίο αναπτύσσονται, να τις προωθούν σε τυχόν εφαρμογές του δικτύου.

1.2.1.2 Συστατικά ενός κόμβου

Οι κόμβοι-αισθητήρες του ασύρματου δικτύου αισθητήρων αποτελούνται από τέσσερα μέρη τα οποία είναι μία μονάδα αίσθησης, μία μονάδα επεξεργασίας, ένας πομποδέκτη και μία μονάδα ενέργειας(μπαταρία). Αποτελούνται από:

1. έναν πομποδέκτη RF, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την ανταλλαγή πληροφοριών,
2. έναν μικροεπεξεργαστή(CPU) ή μονάδα επεξεργασίας δεδομένων, ο οποίος αξιολογεί τη λειτουργία του κόμβου, με αποτέλεσμα να εξάγει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του και να είναι υπεύθυνος για τη σωστή εφαρμογή των πρωτοκόλλων που χρησιμοποιεί το δίκτυο.
3. μνήμη τυχαίας προσπέλασης(RAM)
4. Σύστημα εύρεσης θέσης, το οποίο δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει στον κόμβο
5. μπαταρία, για περιορισμένη ενεργειακή αυτονομία
6. Αισθητήρες κατάλληλους για την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για τη συλλογή πληροφοριών
7. μονάδα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακού, για την περαιτέρω επεξεργασία των συλλεγμένων δεδομένων από τον ίδιο τον κόμβο, πριν την αποστολή τους στον κόμβο πύλη.



Εικόνα 1.1: Δομικά στοιχεία Κόμβου[3]

1.2.2 Κεντρικός κόμβος πύλη (Gateway)

Το gateway είναι ένας κόμβος ο οποίος λειτουργεί ως δίοδος δεδομένων. Διαχειρίζεται όλα τα δεδομένα από τους κόμβους – συλλέκτες και είναι το ενδιάμεσο στάδιο για να φτάσουν τα δεδομένα στη διεπαφή του εφαρμογής. Κάθε κεντρικός κόμβος μπορεί να λειτουργεί με διαφορετικό πρωτόκολλο μετάδοσης δεδομένων, το οποίο ορίζεται κατά την κατασκευή του. Υπάρχουν διαφορετικά είδη κεντρικών

κόμβων τα οποία εκτελούν και συγκεκριμένες εργασίες, ανάλογα με την εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιούνται[4].

Ανάλογα με την εφαρμογή, ένας κεντρικός κόμβος πύλης μπορεί ακόμα να ταυτίζεται με έναν κόμβο εντός του δικτύου, χωρίς να αποτελεί ξεχωριστή δικτυακή οντότητα, αλλά και να αποτελεί μέρος ενός μεγαλύτερου δικτύου[4].

Σε κάθε περίπτωση, ο κεντρικός κόμβος εμπεριέχει μεγαλύτερα αποθέματα ενέργειας, λόγω των υψηλών απαιτήσεων του για αυτή.

1.2.3 Δικτυακός Δρομολογητής (router)

Ο δικτυακός δρομολογητής είναι μια συσκευή που συνδέει δύο ή περισσότερα δίκτυα μεταξύ τους, με σκοπό την επικοινωνία τους και την ανταλλαγή πακέτων μεταξύ τους[5]. Οι λειτουργίες που παρέχει στο δίκτυο είναι οι εξής:

1. Διαχειρίζεται την κίνηση μεταξύ των δύο συνδεδεμένων δικτύων, προωθώντας τα πακέτα δεδομένων στις IP διευθύνσεις που πρέπει να σταλούν, εντός και εκτός του δικτύου και
2. Επιτρέπει σε πολλές συσκευές να χρησιμοποιούν την ίδια σύνδεση στο Διαδίκτυο.

1.2.4 Εξυπηρετητής Δικτύου(server)

Ο εξυπηρετητής του δικτύου είναι υπεύθυνος για την αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων που λαμβάνει, καθώς και για τη μεταφορά τους στην εκάστοτε εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί για το δίκτυο. Επιπλέον, είναι απαραίτητος για την διασφάλιση της ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ αυτού και των εφαρμογών, καθώς και για τις απαιτήσεις ενέργειας του δικτύου.

1.3 Πλεονεκτήματα Χρήσης και Περιορισμοί Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Χαμηλό κόστος ανάπτυξης δικτύου: Το κόστος για την ανάπτυξη ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων μικρής κλίμακας δεν αποτελεί ανασταλτικός παράγοντας τη δεδομένη χρονική στιγμή, καθώς με στρατηγική τοποθέτηση των κόμβων-αισθητήρων και του κεντρικού κόμβου πύλης, περιορίζεται σημαντικά η ποσότητα του υλικού εξοπλισμού[6]. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την προηγμένη τεχνολογία συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που προσφέρουν τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, καθιστά δυνατή την ανάπτυξη δικτύων που σε άλλες περιπτώσεις θα ήταν οικονομικά ασύμφορα[6].

Χαμηλή κατανάλωση ισχύος: Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων και συγκεκριμένα οι κόμβοι-αισθητήρες εμπεριέχουν δική τους πηγή ενέργειας, τυπικά μία μικρή μπαταρία. Με την πάροδο του χρόνου και την αποφόρτιση των μπαταριών αυτών, οι κόμβοι τίθενται εκτός λειτουργίας, έως την επαναφόρτισή της πηγής ενέργειάς τους, εάν αυτό καθίσταται δυνατό. Σύμφωνα με το παραπάνω, όσο πιο χαμηλή κατανάλωση ισχύος έχει ένας κόμβος, τόσο πιο αργά γίνεται αυτή η αποφόρτιση[6]. Για το λόγο αυτό, οι κόμβοι των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων έχουν χαμηλή κατανάλωση ισχύος.

Αυτόνομη και προγραμματιζόμενη λειτουργία: Στα ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων υπάρχει η δυνατότητα για αυτόματη ρύθμιση των κόμβων αισθητήρων. Κατά τον προγραμματισμό τους οι κόμβοι-αισθητήρες παίρνουν κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας του, και συγκεκριμένα για το εάν θα λάβει ή θα στείλει δεδομένα την εκάστοτε χρονική στιγμή, τη συχνότητα δειγματοληψίας του, αλλά και σε ποιον κόμβο πύλη θα συνδεθεί. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το δίκτυο δημιουργείται αυτόματα με την τοποθέτηση των κόμβων[6].

Επεκτασιμότητα / Προσαρμοστικότητα: Το αρχικό δίκτυο δημιουργείται με την αρχική τοποθέτηση του υλικού του δικτύου. Κατά την πορεία λειτουργίας του δικτύου, είναι πιθανόν η ανάγκη για επέκταση του δικτύου, προσθέτοντας επιπλέον κόμβους-αισθητήρες[6]. Η ανάγκη αυτή στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, είναι δυνατόν να ικανοποιηθεί μέσα σε λίγα λεπτά, λόγω της αυτόνομης λειτουργίας τους. Λόγω της δυνατότητας αυξομείωσης της κλίμακας του δικτύου, τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων μπορούν να δώσουν πιο λεπτομερή και ορθά στοιχεία με την πρόσθεση κάθε κόμβου.

Τοποθεσία: Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων μπορούν να αναπτυχθούν σε δυσπρόσιτες περιοχές για άλλα συστήματα αισθητήρων. Μπορούν να συλλέξουν δεδομένα από περιοχές απαραίτητες για την ολοκληρωμένη έρευνα μίας τοποθεσίας, οι οποίες όμως παρουσιάζουν συγκεκριμένο κώλυμα νομικής φύσης ή κώλυμα ιδιοκτησίας[6].

Δυνατότητα προσωποποιημένων λύσεων: Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων παρουσιάζουν μεγάλη προσαρμοστικότητα και επεκτασιμότητα. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή δυνατότητας παραμετροποίησης του δικτύου. Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιδιαίτερες συνθήκες και με τον τρόπο ανάλογο της εκάστοτε εφαρμογής. Στο ίδιο δίκτυο μπορούν να πραγματοποιούνται λειτουργίες ασύνδετες μεταξύ τους, χρησιμοποιώντας διαφορετικούς κόμβους-αισθητήρες, γεγονός το οποίο συμβάλει στην ικανοποίηση πολύ διαφορετικών στόχων των διάφορων εφαρμογών[6].

1.4 Περιορισμοί Υλικού

Παρά τα μεγάλα οφέλη που παρέχουν τα ασύρματα δίκτυα για την ανάπτυξη ενός δικτύου, συχνά οι περιορισμοί του υλικού μέρους του συστήματος, οδηγούν σε ορισμένα εμπόδια

Ενέργεια: Τα ζήτημα της ενέργειας είναι από τα πιο σημαντικά στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, λόγω της σχετικά σύντομης ζωής των κόμβων του δικτύου, η οποία προκύπτει από τους περιορισμούς που θέτει η πηγή ενέργειας που διαθέτουν. Σημαντικό στοιχείο που επηρεάζει την διάρκεια ζωής της μπαταρίας είναι η θέση ενός κόμβου εντός του δικτύου, αλλά και η απόστασή του από τον κεντρικό κόμβο[7]. Εάν ένας κόμβος αποφορτιστεί, επηρεάζεται αυτόματα και η λειτουργία ολόκληρου του δικτύου, καθώς χάνονται δεδομένα. Συνεπώς, σημαντικό στοιχείο που πρέπει να εισαχθεί στο σύστημα είναι οι αλγόριθμοι διαχείρισης ενέργειας.

Εντοπισμός κόμβων: Ο εντοπισμός της θέσης ενός κόμβου εντός του δικτύου, αποτελεί σημαντικό ζήτημα στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, καθώς όπως προαναφέρθηκε, η γνώση της θέσης ενός κόμβου συμβάλει στην ενεργειακή απόδοση του δικτύου. Ανάλογα με τις υλικές προδιαγραφές ενός κόμβου, ο εντοπισμός της

θέσης κρίνεται απλός ή σύνθετος. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να εισαχθούν στο δίκτυο αλγόριθμοι εντοπισμού θέσης.

Συγχρονισμός: Ο συγχρονισμός σε ένα δίκτυο έχει ως στόχο την παροχή ενός κοινού χρονικού ορίου στο δίκτυο, η οποία θα συμβάλει στην ορθή ανάλυση των αποτελεσμάτων του δικτύου[7]. Διαφορετικά πακέτα δεδομένων, τα οποία αφορούν την ίδια χρονική στιγμή, είναι πιθανόν να ληφθούν από τον κεντρικό κόμβο σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Η ύπαρξη ενός κοινού χρονικού ρολογιού, λύνει το πρόβλημα του συγχρονισμού των πακέτων, περιορισμός που προκύπτει από τη θέση των κόμβων, αλλά και από την καθυστέρηση εντός του δικτύου, λόγω υψηλού φόρτου κίνησης.

Κόστος: Παρόλο που το κόστος για την ανάπτυξη ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων είναι πολύ πιο χαμηλό σε σχέση με το αντίστοιχο ενσύρματο, δεν παύει να αποτελεί ένα αξιόλογο κόστος. Ειδικά αν ληφθεί υπόψη και το κόστος συντήρησης του δικτύου αλλά και το κόστος λειτουργίας[7].

Μέγεθος: Για τη ανάπτυξη ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων, συνήθως απαιτείται η ανάπτυξη του σε πολύ μικρό μέγεθος υλικού, με αποτέλεσμα όλα όσα προαναφέρθηκαν να δυσχεραίνουν την μείωση της κλίμακας του μεγέθους του υλικού[7].

1.5 Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

1.5.1 Επίγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Τα επίγεια Δίκτυα Αισθητήρων τυπικά αποτελούνται από χιλιάδες ασύρματους κόμβους μικρής οικονομικής αξίας, οι οποίοι τοποθετούνται είτε σε τυχαία, είτε σε προεπιλεγμένη κατανομή εντός της περιοχής που θα μελετηθεί.

Σε ένα Επίγειο Δίκτυο Αισθητήρων, η αξιόπιστη επικοινωνία αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο του δικτύου, ειδικά σε ένα δίκτυο με πυκνή κατανομή αισθητήρων. Οι κόμβοι οφείλουν αν μεταδίδουν τα δεδομένα αποτελεσματικά στον κεντρικό κόμβο ή απευθείας στον κόμβο πύλη [8]. Καθώς οι ενσωματωμένες μπαταρίες πιθανότατα δεν θα είναι επαναφορτιζόμενες, τα επίγεια Δίκτυα Αισθητήρων οφείλουν να είναι εξοπλισμένα με δευτερεύουσα πηγή ενέργειας, αλλά και να

λειτουργούν με χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Ταυτόχρονα θα πρέπει να μειώνεται όσο είναι δυνατόν η ποσότητα των δεδομένων επικοινωνίας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μικρή κατανάλωση στοιχείων[8].



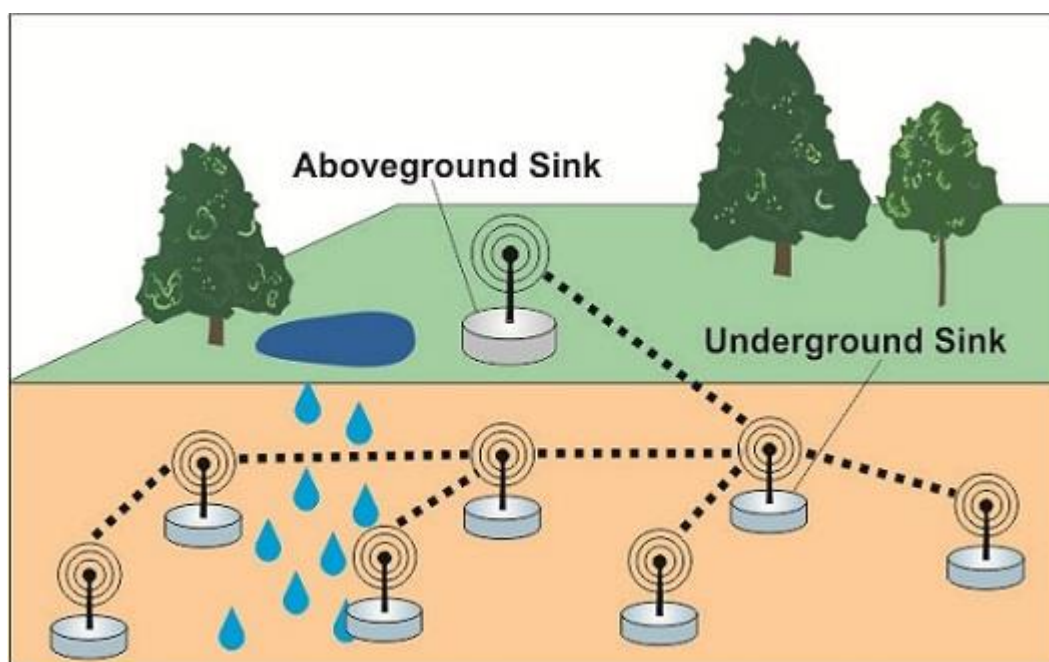
Εικόνα 2: Επίγειο Δίκτυο Αισθητήρων [9]

1.5.2 Υπόγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Τα Υπόγεια Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων αποτελούνται από ασύρματους κόμβους τοποθετημένους κάτω από την επιφάνεια του εδάφους ή ακόμα και μέσα σε σπηλιές ή ορυχεία. Για την μετάδοση των δεδομένων, τοποθετούνται επιπλέον κόμβοι στην επιφάνεια του εδάφους.

Η ανάπτυξη ενός υπόγειου Δικτύου Αισθητήρων έχει σαφώς μεγαλύτερο κόστος από ένα Επίγειο Δίκτυο Αισθητήρων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο υψηλό κόστος ανάπτυξής και συντήρησής τους, αλλά και στα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχουν οι κόμβοι του, δεδομένου ότι θα πρέπει να μεταφέρουν δεδομένα μέσα από υλικά όπως έδαφος, πετρώματα, νερό, αλλά μέσω ποικίλων χημικών και μεταλλικών στοιχείων[8]. Το γεγονός αυτό αυξάνει ιδιαίτερα το κόστος του απαραίτητου εξοπλισμού για την ανάπτυξη του Δικτύου αυτού. Αντίστοιχα με το επίγειο Δίκτυο Αισθητήρων, βασικός στόχος είναι η εξοικονόμηση ενέργειας, καθώς όχι μόνο δεν υπάρχει η άμεση δυνατότητα αντικατάστασης της πηγής ενέργειας των κόμβων, αλλά υπάρχει και το εμπόδιο της τοπολογίας του δικτύου. Η τοπολογία του δικτύου μπορεί

να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα στην εξοικονόμηση ενέργειας του δικτύου, καθώς απαιτείται αυξημένος ρυθμός αποστολής δεδομένων και ισχύς σήματος, ώστε τα δεδομένα να φτάσουν αποτελεσματικά στον προορισμό τους[8].



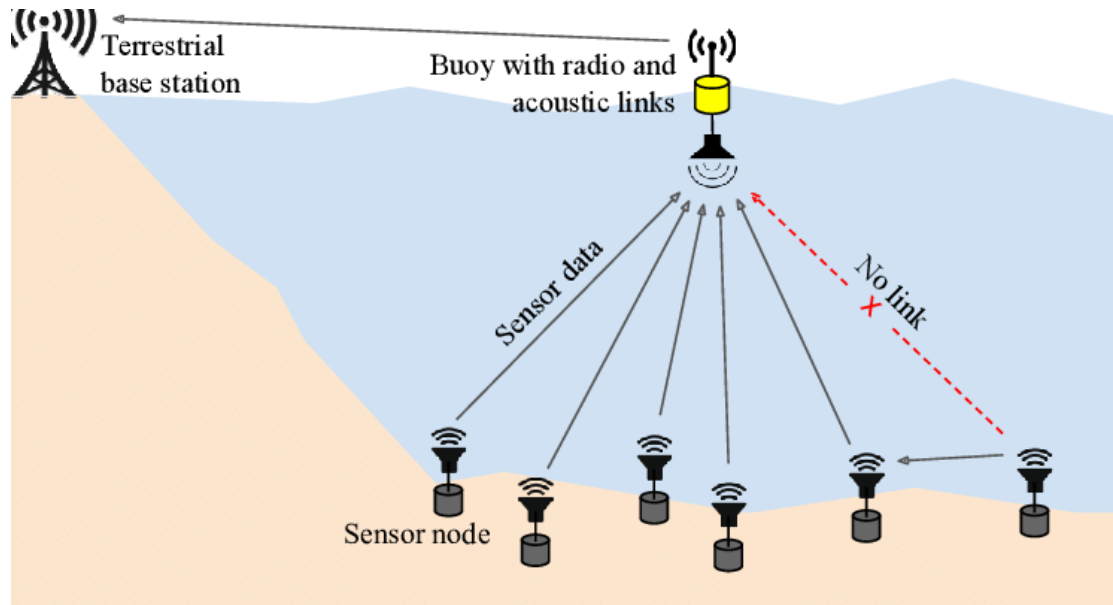
Εικόνα 3: Υπόγειο Δίκτυο Αισθητήρων[10]

1.5.3 Υποθαλάσσια Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Το υποθαλάσσιο Δίκτυο Αισθητήρων αποτελείται από μικρό αριθμό κόμβων αλλά και υποθαλάσσιων οχημάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση της περιοχής και τη συλλογή δεδομένων.

Το δίκτυο αυτό αποτελεί μία από τις πιο ακριβές επιλογές Ασύρματων δικτύων, παρόλο που χρησιμοποιείται μικρότερος αριθμός κόμβων. Η τοποθέτηση των αισθητήρων είναι αραιή. Τυπικά η μετάδοση των δεδομένων γίνεται μέσω ακουστικών κυμάτων, γεγονός που οδηγεί σε αργή μετάδοση των δεδομένων. Οι προκλήσεις που προκύπτουν δεν αφορούν μόνο την διάρκεια ζωής της μπαταρίας των κόμβων, αλλά και το περιορισμένο εύρος ζώνης, η μεγάλη καθυστέρηση διάδοσης και η μεγάλη εξασθένιση του σήματος που μεταδίδεται[8]. Οι κόμβοι αισθητήρες θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένοι για τις δύσκολες συνθήκες που επικρατούν στο υποθαλάσσιο περιβάλλον. Επιπλέον, το δίκτυο θα πρέπει να περιλαμβάνει αποτελεσματική

επικοινωνία μεταξύ των κόμβων της, αλλά κυρίως επιτυχημένες τεχνικές δικτύωσης, ώστε να μπορέσει να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις που προκύπτουν[8].

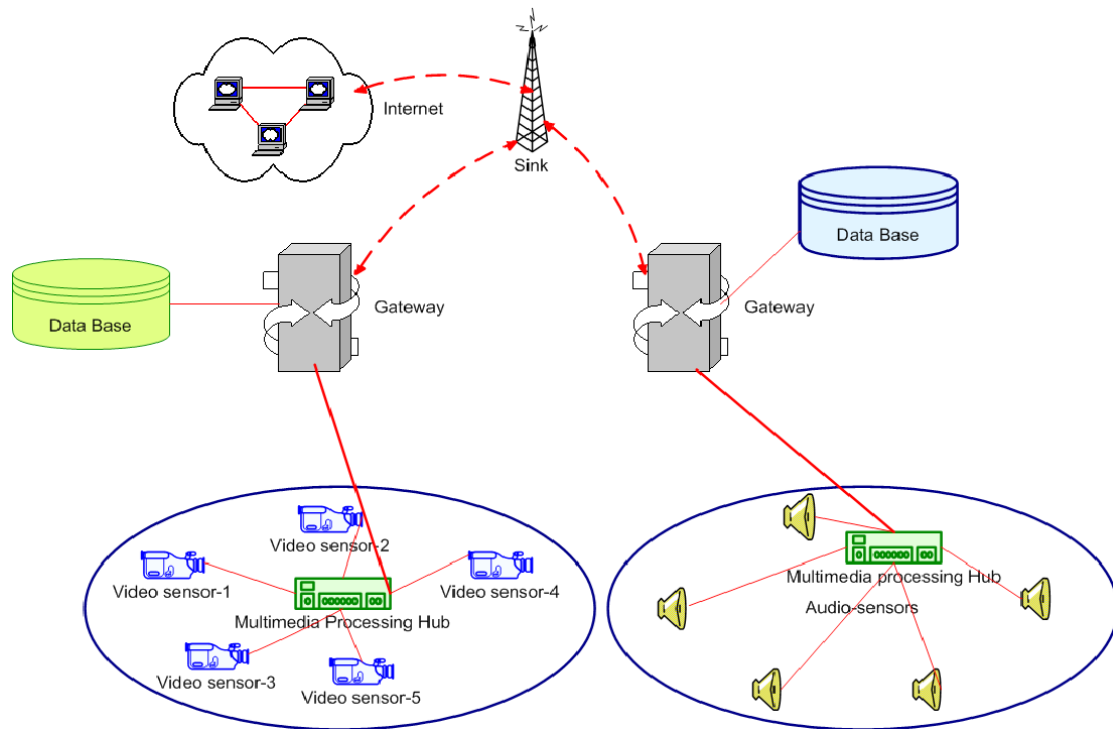


Εικόνα 4 : Υποθαλάσσιο Δίκτυο Αισθητήρων [11]

1.5.4 Multimedia Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Αποτελείται από ασύρματους κόμβους, οι οποίοι είναι ικανοί να συλλέγουν, να επεξεργάζονται, να αποθηκεύουν και να εξάγουν δεδομένα εικόνας και βίντεο. Οι κόμβοι αυτοί είναι εξοπλισμένοι με κάμερες και μικρόφωνα.

Η τοποθέτηση των κόμβων αυτών δεν μπορεί να γίνει τυχαία, αλλά μόνο με προγραμματισμένη κατανομή, καθώς μόνο έτσι είναι εγγυημένη η πλήρης κάλυψη της περιοχής προς μελέτη. Για τη μετάδοση δεδομένων απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης, υψηλή κατανάλωση ισχύος, εξασφάλιση παροχής ποιότητας υπηρεσίας (QoS), αλλά και τεχνικές επεξεργασίας και συμπίεσης δεδομένων. Καθώς τα δεδομένα προς αποστολή (βίντεο, εικόνες) απαιτούν μεγάλο εύρος δεδομένων για να μεταδοθούν, λόγω του μεγέθους τους, προκύπτει ανάγκη μεγάλης κατανάλωσης ισχύος. Σύμφωνα με αυτό, είναι απαραίτητη η ανάπτυξη τεχνικών μετάδοσης με επαρκές εύρος ζώνης αλλά με χαμηλή κατανάλωση ισχύος[8]. Επιπλέον, η εξασφάλιση ποιότητας υπηρεσίας (QoS), αποτελεί μεγάλη πρόκληση στα multimedia Ασύρματα Δίκτυα, καθώς υπάρχει μεταβλητή καθυστέρηση και χωρητικότητα καναλιών μετάδοσης δεδομένων.

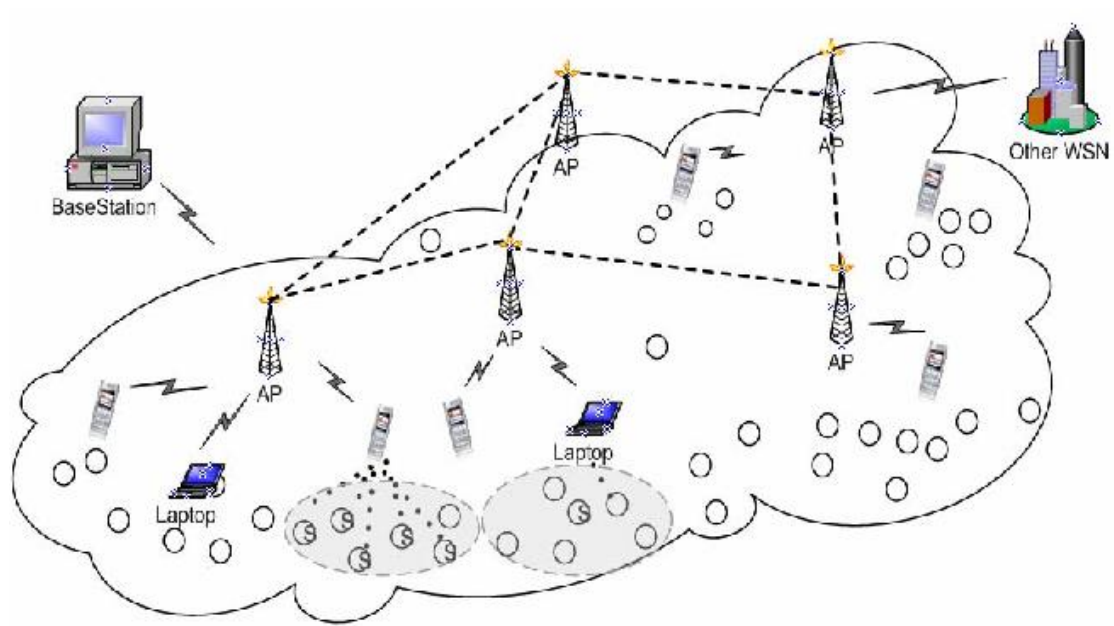


Εικόνα 5: Multimedia Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων[12]

1.5.5 Κινητά Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Τα κινητά Ασύρματα Δίκτυα αποτελούνται από ασύρματους κόμβους οι οποίοι μπορούν να κινηθούν αυτόνομα και να αλληλεπιδράσουν με το φυσικό περιβάλλον.

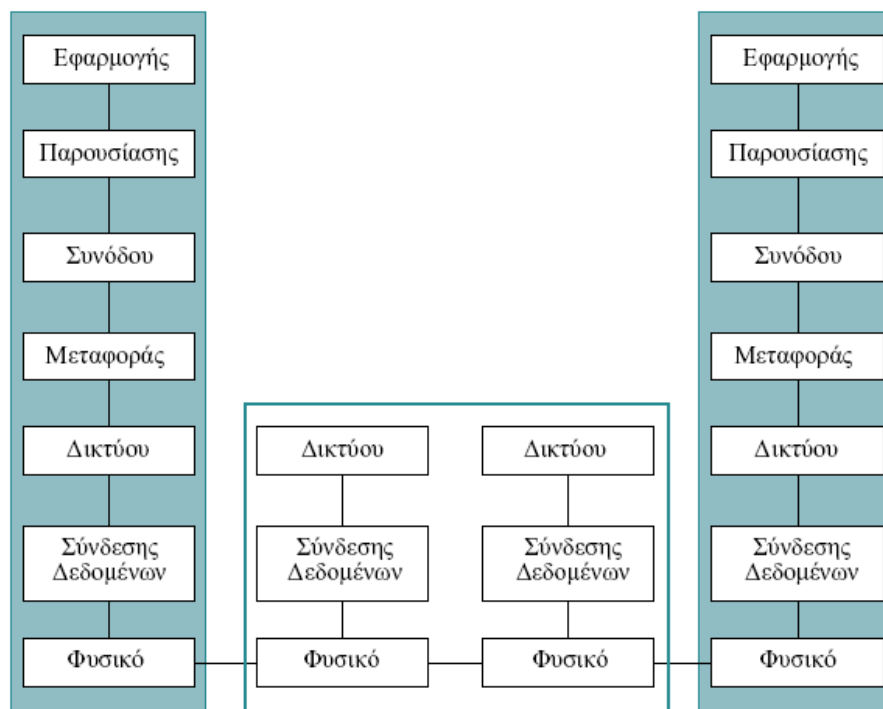
Οι κόμβοι του δικτύου έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν με το ίδιο τρόπο όπως οι στατικοί κόμβοι, δηλαδή να συλλέγουν, να επεξεργάζονται και να μεταδίδουν δεδομένα. Η βασική διαφορά τους είναι η ικανότητα των κινητών κόμβων να αλλάζουν θέση εντός του δικτύου και να οργανώνονται εκ νέου[8]. Το δίκτυο ξεκινάει με μία αρχική τοποθέτηση κόμβων και στη συνέχεια οι κόμβοι αισθητήρες να μετακινηθούν ώστε να συλλέξουν τα απαραίτητα δεδομένα. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να μεταδοθούν ανάμεσα στους κόμβους του δικτύου, μόνο όταν εκείνοι βρίσκονται εντός εμβέλειας μεταξύ τους. Επιπροσθέτως, μία ακόμη διαφορά που προκύπτει είναι στη μετάδοση των δεδομένων. Σε ένα δίκτυο κινητών κόμβων δεν μπορεί να προκαθοριστεί η διαδρομή που θα ακολουθήσουν τα δεδομένα, αλλά είναι απαραίτητη η δυναμική ανάπτυξη διαδρομής[8]. Προκλήσεις του δικτύου αυτού αποτελούν η ανάπτυξη και η συντήρηση του δικτύου, ο εντοπισμός των κόμβων, η διαχείριση της ενέργειας των κόμβων, αλλά κυρίως η δυναμική διαδρομή των δεδομένων[8].



Εικόνα 6: Κινητό Δίκτυο Αισθητήρων [13]

1.6 Αρχιτεκτονική Ασύρματων Δικτύων – Δομή

1.6.1 Μοντέλο αναφοράς OSI



Εικόνα 7: Μοντέλο Αναφοράς OSI [14]

Το μοντέλο αναφοράς OSI αναπαριστά τον τρόπο με τον οποίο κατανοούμε τα δίκτυα υπολογιστών και αποτελείται από επτά επίπεδα[14]. Τα τρία χαμηλότερα επίπεδα ασχολούνται με τον έλεγχο της μετάδοσης των μηνυμάτων μέσα στο δίκτυο, ενώ τα τέσσερα ανώτερα επίπεδα παρέχουν την αξιόπιστη μεταβίβαση των δεδομένων μεταξύ των τελικών χρηστών. Έτσι, και τα επτά επίπεδα υλοποιούνται μόνο στους υπολογιστές που λειτουργούν ως τερματικοί σταθμοί[15].

Φυσικό Επίπεδο

Στο Φυσικό Επίπεδο καθορίζονται οι προδιαγραφές για τη μετάδοση των δεδομένων πάνω από ένα φυσικό μέσο. Προδιαγραφές αυτού του επιπέδου αποτελούν η διαδικασία εγκαθίδρυσης και τερματισμού της σύνδεσης του δικτύου και ο ρυθμός μετάδοσης .

Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων

Το Επίπεδο Σύνδεσης Δεδομένων παρέχει την αξιόπιστη μεταφορά των δεδομένων πάνω από το φυσικό μέσο που έχει επιλεγθεί. Τα δεδομένα που εισέρχονται σε αυτό το επίπεδο οργανώνονται σε πλαίσια. Στα πλαίσια αυτά ενσωματώνονται οι πληροφορίες ελέγχου των δεδομένων, τα οποία θα ονομάζονται πλαίσια επικεφαλίδας και ουράς. Τα πλαίσια αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο σφαλμάτων, τον έλεγχο διπλότυπων αλλά και τον έλεγχο ροής των δεδομένων, δηλαδή τον έλεγχο της ποσότητας των πακέτων που μπορούν να μεταδοθούν, ώστε να μην υπάρχει υπερχειλίση, η οποία οδηγεί στην απόρριψη πακέτων. . Σε περίπτωση που εντοπιστεί σφάλμα ή διπλότυπο πλαίσιο, υπάρχουν δύο ενδεχόμενα, είτε να ζητηθεί επανεκπομπή του πακέτου δεδομένων, είτε να γίνει μία απλή ενημέρωση στο ανώτερο επίπεδο.

Τέλος, εάν η αποστολή των πακέτων δίνεται με διευθυνσιοδότηση, τότε αυτή υλοποιείται σε αυτό το επίπεδο. Διευθυνσιοδότηση ονομάζεται η λειτουργία κατά την οποία η αποστολή των πακέτων γίνεται με βάση τη φυσική διεύθυνση του κόμβου για τον οποίο προορίζεται το πακέτο. Η διεύθυνση αυτή προσδιορίζεται στην επικεφαλίδα των πακέτων, και είναι μοναδική για κάθε κόμβο ή για κάθε συσκευή.

Επίπεδο Δικτύου

Σε αυτό το επίπεδο καθορίζεται ο τρόπος με τον οποίο δρομολογούνται τα πακέτα μεταξύ αποστολέα και προορισμού, καθώς και ο έλεγχος συμφόρησης του

δικτύου, με τον οποίο αποφεύγεται η αποστολή περισσότερων πακέτων από όσα αντέχει το δίκτυο. Για τη δρομολόγηση αυτή επιλέγεται ένας αλγόριθμος δρομολόγησης, είτε στατικός είτε δυναμικός. Ο αλγόριθμος αυτό επιλέγεται ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε δικτύου, είτε αυτές είναι για τη μέγιστη αποφυγή της συμφόρησης, είτε για την καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.

Τέλος, σε αυτό το επίπεδο ορίζονται η διαθυσιοδότηση του δικτύου, με την οποία γίνεται και η αποστολή πακέτων.

Επίπεδο Μεταφοράς

Σε αυτό το επίπεδο αναπτύσσεται το κανάλι επικοινωνίας ,μέσω του οποίου θα μεταβιβάζονται αξιόπιστα τα δεδομένα μεταξύ των κόμβων.

Στον αποστολέα τα δεδομένα που εισέρχονται ανώτερο επίπεδο, το οποίο αναλύεται στη συνέχεια, συνήθως διασπώνται σε μικρότερα πακέτα, τα οποία αριθμούνται και προωθούνται στο χαμηλότερο επίπεδο, αυτό του Δικτύου. Αντίστοιχα, στον παραλήπτη κόμβο τα αρχικά μηνύματα επανασυνθέτονται από τα εισερχόμενα πακέτα και προωθούνται προς επεξεργασία ανώτερο επίπεδο.

Επιπλέον, το Επίπεδο Μεταφοράς είναι υπεύθυνο για την εγκαθίδρυση, τη συντήρηση και τον τερματισμό των καναλιών επικοινωνίας μεταξύ των τερματικών κόμβων. Ένα πακέτο είναι πιθανό να μεταδίδεται σε παραπάνω από ένα κανάλι επικοινωνίας, οπότε αυτό το επίπεδο είναι υπεύθυνο και για τον έλεγχο ροής στα κανάλια επικοινωνίας.

Επίπεδο Συνόδου

Σε αυτό το επίπεδο διενεργούνται όλες οι απαραίτητες λειτουργίες για την εγκαθίδρυση, την επίβλεψη και τον τερματισμό των συνόδων (sessions) μεταξύ των τελικών εφαρμογών.

Επιπλέον, το επίπεδο αυτό είναι υπεύθυνο για το χρονισμό των πακέτων, κατά τον οποίο τα πακέτα του δικτύου αποθηκεύουν πληροφορίες, οι οποίες βοηθούν στον προσδιορισμό της χρονικής στιγμής κατά την οποία εστάλησαν, με σκοπό την τοποθέτησή τους χρονικά στο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται διπλότυπες εγγραφές αλλά και αναγνωρίζονται οι τυχόν καθυστερήσεις εντός του δικτύου.

Επίπεδο Παρουσίασης

Το Επίπεδο Παρουσίασης έχει ως κύρια λειτουργία την εξασφάλιση της αναγνωσιμότητάς των δεδομένων που λαμβάνει, ακόμα και εάν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

Επιπλέον, στο επίπεδο αυτό ορίζεται η τεχνική συμπίεσης δεδομένων και κρυπτογράφησης της πληροφορίας, σε περίπτωση που αυτές χρειάζονται για την περεταίρω αποστολή των δεδομένων.

Επίπεδο Εφαρμογής

Το επίπεδο εφαρμογής παρέχει τη διασύνδεση του δικτύου με το χρήστη, δηλαδή την εφαρμογή με την οποία θα αλληλοεπιδρούν δίκτυο και χρήστης.

1.6.2 Τοπολογίες Ασύρματων δικτύων

Ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων, αποτελείται τυπικά από δύο δομικά στοιχεία. Εκείνα που παράγουν ή παρέχουν δεδομένα στο δίκτυο και εκείνα που συλλέγουν ή ζητούν τα δεδομένα[16]. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι κόμβοι-αισθητήρες του δικτύου, ενώ στη δεύτερη ανήκει ο κόμβος του δικτύου, όπου εκείνος υπάρχει. Ο κόμβος του δικτύου είναι υπεύθυνος για την προώθηση των δεδομένων στην πύλη δεδομένων ή στον κόμβο-πύλη. Οι πιο δημοφιλείς τοπολογίες ακολουθούν παρακάτω[17].

1.6.2.1 PTP(peer-to-peer)

Σε αυτήν τη δομή όλοι οι κόμβοι του Ασύρματου Δικτύου μοιράζονται τους πόρους του δικτύου ισοδύναμα. Ταυτόχρονα όμως, μπορούν να χρησιμοποιήσουν, σε περίπτωση που είναι απαραίτητο, τη συνολική επεξεργαστική ισχύ, τον συνολικό αποθηκευτικό χώρο και το εύρος ζώνης μίας εφαρμογής. Οι κόμβοι μεταξύ τους έχουν ίσα δικαιώματα εντός του δικτύου και της εφαρμογής. Τέλος, ο κάθε κόμβος του δικτύου έχει πρόσβαση σε όλους τους υπόλοιπους κόμβους.

Έχοντας αναφέρει τα παραπάνω, τα δίκτυα ptp διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες : Συγκεντρωτικά και Αποκεντρικά.

A) Συγκεντρωτικά p2p δίκτυα

Στα συγκεντρωτικά p2p δίκτυα υπάρχει ο κεντρικός κόμβος (index server), ο οποίος είναι υπεύθυνος για την λεπτομερή καταγραφή των συμβάντων εντός του δικτύου. Ο κόμβος αυτός είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μεταξύ των υπόλοιπων κόμβων. Εάν ζητηθεί από έναν κόμβο μία πληροφορία, ο κεντρικός κόμβος εγκαθιστά σύνδεση μεταξύ του αιτούντος κόμβου και του κόμβου στον οποίο εμπεριέχεται η εκάστοτε πληροφορία.

B) Αποκεντρικά p2p Δίκτυα

Στα αποκεντρικά p2p Δίκτυα κάθε απουσιάζει ο κεντρικός κόμβος(index server). Σε αυτήν την αρχιτεκτονική κάθε κόμβος είναι πελάτης (client) και εξυπηρετητής (server). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δυνατότητα του κάθε κόμβου και να εξυπηρετεί και να εξυπηρετείται, χωρίς να χρειάζεται έγκριση από τον κεντρικό κόμβο. Ως προϋπόθεση για την ένταξη νέου κόμβου στο δίκτυο, είναι η δήλωσή του στους κοντινούς του κόμβους, οι οποίοι κατ επέκταση κοινοποιούν την παρουσία του σε ολόκληρο το δίκτυο.



Εικόνα 8: Τοπολογία Peer To Peer[18]

1.6.2.2 Αρχιτεκτονική Αστέρα

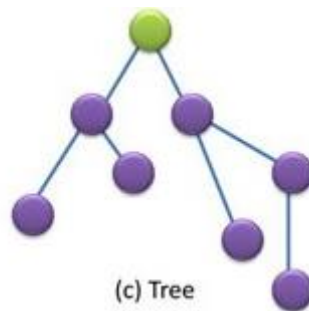
Σε αυτήν τη δομή κάθε κόμβος λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος για τους γειτονικούς του. Εξυπηρετεί κάθε γειτονικό του κόμβο λαμβάνοντας και προωθώντας δεδομένα που εξέρχονται ή έχουν προορισμό αυτούς. Κάθε κόμβος μεταδίδει όλα τα μηνύματα που λαμβάνει στους γειτονικούς του κόμβους, με αποτέλεσμα το ίδιο μήνυμα να μεταδίδεται σε παραπάνω από έναν κόμβο, δημιουργώντας έτσι διπλότυπα μηνύματα. Μόλις ένα μήνυμα ληφθεί από κάποιον κόμβο, αξιολογείται από τον ίδιο και αποφασίζεται εάν θα προωθηθεί και πάλι στους γειτονικούς του κόμβους ή αν αφορά τον ίδιο τον κόμβο. Εάν το μήνυμα έχει ήδη ληφθεί τότε αγνοείται. Με αυτόν τον τρόπο φτάνει τελικά το μήνυμα στον κόμβο προορισμού.



Εικόνα 9: Τοπολογία Αστέρα[18]

1.6.2.3 Δέντρο

Σε αυτήν την δομή υπάρχει ο κόμβος – ρίζα και από κάτω του ορίζονται οι κόμβοι – παιδιά του. Κάθε κόμβος έχει επικοινωνία με τα παιδιά του ή/και την ρίζα του, ανάλογα με το αν η επικοινωνία έχει οριστεί ως αμφίδρομη ή όχι. Αντίστοιχα με την αρχιτεκτονική αστέρα, κάθε κόμβος στέλνει τα μηνύματα που λαμβάνει στα παιδιά του.

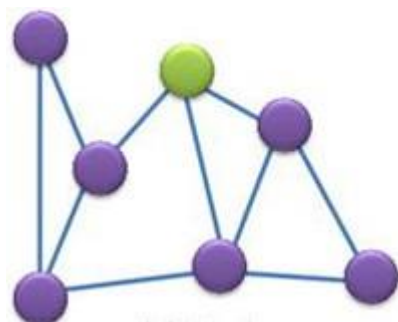


Εικόνα 10: Τοπολογία Δέντρου[18]

1.6.2.4 Πλέγμα

Σε αυτή τη δομή ο κάθε κόμβος δεν λειτουργεί ως κεντρικός κόμβος μόνο για τους γειτονικούς προς σε αυτούς κόμβους αλλά και για τους συνολικούς κόμβους του δικτύου. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω δύο τεχνικών: της πλημμύρας και της προκαθορισμένης δρομολόγησης. Στην τεχνική της πλημμύρας, το δίκτυο κατακλύζεται από την πληροφορία προς μετάδοση αφού ο κόμβος που πρόκειται να μεταδώσει πληροφορία, την μεταδίδει σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Στη συνέχεια οι παραλήπτες αναμεταδίδουν την πληροφορία. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται η μετάδοση της πληροφορίας στον κόμβο για τον οποίο προορίζεται.

Στην τεχνική της προκαθορισμένης δρομολόγησης, ορίζεται εκ των προτέρων το μονοπάτι κόμβων που θα ακολουθήσει η πληροφορία για να φτάσει στον κόμβο προορισμού, λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των κόμβων μέσα από τους οποίους θα περάσει, δηλαδή τον αριθμό των αλμάτων(hops), αλλά και την κίνηση του κάθε κόμβου.



Εικόνα 11: Τοπολογία Πλέγματος [18]

1.7 Τεχνολογίες και πρωτόκολλα στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

1.7.1 IEEE 802.11 a/b/g

Το 802.11 είναι ένα σύνολο προτύπων της IEEE που διέπουν τις μεθόδους μετάδοσης ασύρματης δικτύωσης και ανήκει στα WLAN,(Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα). Στην πορεία οδήγησε στην δημιουργία του WiFiAlliance, και αναφέρονται ως WiFi. Χρησιμοποιούνται σε οικιακές εφαρμογές, εφαρμογές γραφείου και εμπορικές εφαρμογές.

Το πρότυπο IEEE 802.11ακυκλοφόρησε το 1999. Λειτουργεί σε συχνότητα 5,4GHz, έχει εύρος ζώνης 20MHz και θεωρητική ταχύτητα έως και 54mbps. Χρησιμοποιεί ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας(OFDM) για την μετάδοση της πληροφορίας. Πλεονέκτημα του προτύπου είναι η συχνότητα λειτουργίας των 5GHz[19]. Καθώς τα περισσότερα πρότυπα χρησιμοποιούν συχνότητα 2,4GHz, δημιουργείται συνωστισμός στην συχνότητα αυτή, με αποτέλεσμα την απώλεια πληροφοριών λόγω συγκρούσεων[20]. Αυξάνοντας την συχνότητα, αποφεύγονται οι συγκρούσεις. Όμως αυτό φέρει και ένα βασικό μειονέκτημα, καθώς το σήμα που μεταδίδεται δεν μπορεί να διαπεράσει συμπαγή εμπόδια. Το πρότυπο αυτό δεν χρησιμοποιείται πλέον[21].

Το πρότυπο 802.11b κυκλοφόρησε το 1999, και λειτουργεί σε συχνότητα 2,4GHz. Χρησιμοποιεί Άμεση ακολουθία Spread Spectrum (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). Καθώς λειτουργεί σε συχνότητα 2,4GHz, η οποία είναι η πιο διαδεδομένη συχνότητα λειτουργίας, υπάρχουν συγκρούσεις σήματος και παρεμβολές. Είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρότυπο του συνόλου, λόγω της μεγάλης διακίνησης πακέτων, του χαμηλού κόστους που απαιτεί για την λειτουργία του σε σχέση με το 802.11a, καθώς και της συγκρισιμότητας του με το Ethernet στο επίπεδο λειτουργικότητας του.

Το πρότυπο 802.11g κυκλοφόρησε το 2003. Λειτουργεί σε συχνότητα 5,4GHz, έχει εύρος ζώνης 20MHz και θεωρητική ταχύτητα έως και 54Mbps. Το πρότυπο χρησιμοποιεί ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας(OFDM), όπως το πρότυπο 802.11a, και CCK όπως το 802.11b[20],[22]. Λόγω του OFDM, επιτυγχάνει την υψηλή ταχύτητα των 54Mbps. Υιοθετήθηκε ραγδαία κατά την εμφάνισή του, λόγω της μεγάλης ανάγκης για αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων αλλά και την ανάγκη για μείωση του κόστους. Καθώς όμως λειτουργεί και αυτό σε συχνότητα 2,4GHz, παρουσιάζει μεγάλες συγκρούσεις και παρεμβολές[23], [24].

Standard	Frequency	Maximum Speed	Backwards compatibility
802.11	2.4 GHz	2 Mbps	-
802.11a	5 GHz	54 Mbps	-
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	-
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	802.11b

Εικόνα 12: Οικογένεια Πρωτοκόλλων 802.11 [25]

1.7.2 IEEE 802.15.1 PAN/Bluetooth

Τα Δίκτυα Προσωπικής Περιοχής(PAN) χρησιμοποιούνται για την μετάδοση δεδομένων σε μικρή απόσταση και σε συγκεκριμένα πρόσωπα/συσκευές. Σε αντίθεση με τα WLAN(Ασύρματα Τοπικά δίκτυα) δεν απαιτούν υποδομές, με αποτέλεσμα να παρέχουν οικονομικές και μικρής κατανάλωσης ισχύος λύσεις.

Το πρότυπο 802.15.1 κυκλοφόρησε το 2002 και είναι ευρέως διαδεδομένο ως Bluetooth(έκδοση 1.2 κα 2.0). Το Bluetooth αποτελεί ένα πρότυπο ασύρματης μετάδοσης δεδομένων, το οποίο έχει χαμηλό ρυθμού μετάδοσης και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σχεδιάστηκε για Προσωπικά δίκτυα(PAN) με σκοπό την αντικατάσταση καλωδίων μεταξύ μικρών συσκευών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Λειτουργεί σε 3 διαφορετικές κλάσεις με διαφορετικές μέγιστες αποστάσεις για την μετάδοσης των δεδομένων. Την Κλάση 1 με μέγιστη απόσταση 100 μέτρων, την Κλάση 2 με μέγιστη απόσταση 10 μέτρα και την κλάση 3 με μέγιστη απόσταση 1 μέτρο[21],[23]. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι στα 2,4GHz με ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων 1Mbit/sec (Bluetooth v. 1.2) και 3 Mbit/sec (Bluetooth v. 2.0). [24]. Χρησιμοποιεί Gaussian FSK. Το Bluetooth είναι πρωτόκολλο προσανατολισμένο στα πακέτα, με αρχιτεκτονική master-slave, κατά την οποία ένας master μπορεί να επικοινωνήσει έως και με επτά slaves σε ένα piconet,[23].



Εικόνα 13: Πρωτόκολλο Bluetooth [26]

1.7.3 IEEE 802.15.3 Ultrawideband (UWB)

Το πρότυπο 802.15.3 κυκλοφόρησε το 2001 και η ενισχυμένη μορφή του, το 802.15.3a, το 2003. Το 802.15.3a σχεδιάστηκε για να προσφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων και πολύ μεγάλο εύρος ζώνης(ultrawideband).

Λειτουργεί σε συχνότητες από 3,1GHz έως και 10GHz, και έχει ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 110Mbps[27]. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την εφαρμογή του UWB:

i) πολλαπλών ζωνών (MB) OFDM UWB και ii) του ραδιοφωνικού παλμού (IR)

UWB

Βασικό πλεονέκτημα του προτύπου , το οποίο προέρχεται από την τεχνολογία UWB,είναι ότι για μικρές αποστάσεις μπορεί να συνδυάσει μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων με πολύ μικρές απαιτήσεις ενέργειας. Είναι ευρέως διαδεδομένο πρότυπο στις ασύρματες επικοινωνίες και σε εφαρμογές, όπως WBAN(WirelessBodyAreaNetwork) [27].



Εικόνα 14: Πρωτόκολλο UWB [28]

1.7.4 IEEE 802.15.4 ZigBee

Το πρωτόκολλο ZigBee αποτελεί μία ενισχυμένη έκδοση του προτύπου 802.15.4, στην οποία βασίζεται. Ανήκει στη ZigBeeAlliance, και είναι το πιο ευρέως διαδεδομένο πρωτόκολλο στις ασύρματες επικοινωνίες. Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 έχει σχεδιαστεί ειδικά για επικοινωνίες χαμηλών αποστάσεων σε δίκτυα χαμηλής ισχύος και υποστηρίζεται από τους περισσότερους εμπορικούς αισθητήρες. Σχεδιάστηκε για LAN. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι 2,4GHz και μπορεί να μεταδώσει σε αποστάσεις έως και 100 μέτρα εντός οπτικού πεδίου. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων είναι ξεκινάει από 20Kbps και φτάνει έως και 250Kbps. Χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική πλέγματος, τεχνολογία δυναμικής δρομολόγησης και επιβεβαίωσης λήψης πακέτου. Στα κύρια πλεονεκτήματά του ανήκει η δυνατότητα σύνδεσης σε πάνω από 255 συσκευές σε κάθε δίκτυο, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας από τις συσκευές του δικτύου, γεγονός το οποίο αυξάνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας των συσκευών, αλλά και η αξιοπιστία και ασφάλεια κατά τη μεταφορά των δεδομένων [21],[23]. Επιπλέον, βασικό πλεονέκτημα για την υιοθέτηση του πρωτοκόλλου από ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων αποτελεί το χαμηλό κόστος των συσκευών που χρειάζονται για την ανάπτυξή του [24]. Οι συσκευές

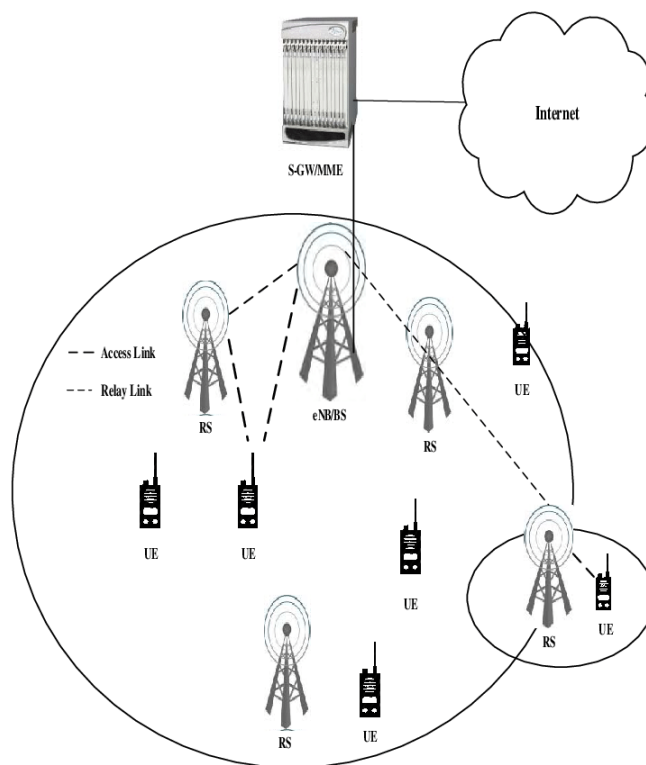
αυτές είναι ένας συντονιστής, ένας δρομολογητής και οι τελικές συσκευές. Ο συντονιστής είναι υπεύθυνος για την δημιουργία του δικτύου και υπάρχει αποκλειστικά ένας σε κάθε δίκτυο. Ο δρομολογητής έχει καθήκον την μεταφορά της πληροφορίας από την πηγή στον προορισμό τους. Τέλος, οι τελικές συσκευές είναι υπεύθυνες για τη συλλογή δεδομένων[25],[26].



Εικόνα 15: Πρωτόκολλο ZigBee[29]

1.7.5 IEEE 802.16 WiMax

Το πρωτόκολλο WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access) ανήκει στο σύνολο προτύπων 802.16 της IEEE και κυκλοφόρησε το 2005. Επιτυγχάνει ταχύτητες από 0,4Gbps – 1Gbps σε σταθερούς σταθμούς βάσης και από 50Mbps - 100Mbps σε κινητούς σταθμούς βάσης.[19] ενώ η μέγιστη δυνατή απόσταση μετάδοσης δεδομένων είναι 50km[23],[24]. Λειτουργεί με παρεμφερή τρόπο με το WiFi, όμως παρέχει πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια, χρησιμοποιώντας ορθογωνική πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας(OFDM). Βασικά πλεονεκτήματα αποτελούν το χαμηλό κόστος ανάπτυξής του, ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και η μεγάλη εμβέλειά του [25],[26].

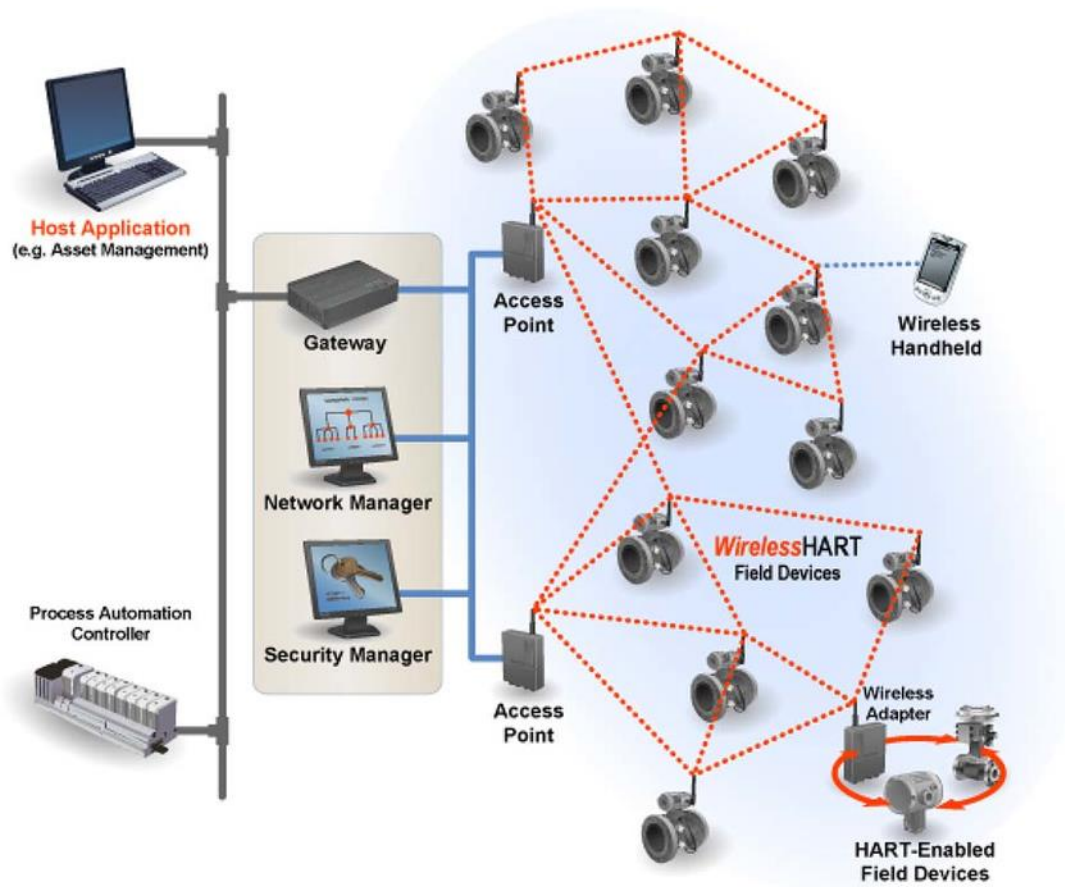


Εικόνα 16: : Πρωτόκολλο WiMax [30]

1.7.6 WirelessHART

Το πρωτόκολλο WirelessHART είναι βασισμένο στο πρότυπο IEEE802.15.4 και στο πρωτόκολλο επικοινωνίας HART, και αναπτύχθηκε με σκοπό την αυτοματοποίηση των διαδικασιών επεξεργασίας μετρήσεων και τον έλεγχο εφαρμογών. Η συχνότητα λειτουργίας του είναι 2,4GHz.[19],[22], και συνδυάζει frequency hopping spread spectrum (FHSS) and direct sequence spread spectrum (DSSS) για την αποτελεσματικότερη μετάδοση δεδομένων. Βασικό χαρακτηριστικό του WirelessHART αποτελεί η δυνατότητα να οργανώνεται μόνο του καθώς και η δυνατότητα να αυτοσυντηρείται[24]. Το πρωτόκολλο είναι ιδιαίτερα ασφαλές και αξιόπιστο και έχει χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Αναπτύσσεται σε τοπολογία πλέγματος ή/και αστέρα και το δίκτυό του αποτελείται από ασύρματες συσκευές δεδομένων, πύλες δεδομένων (gateways), host εφαρμογής π.χ. ηλεκτρονικός υπολογιστής, ελεγκτή και μάνατζερ δικτύου [25],[26]. Οι πύλες δεδομένων επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ του host και των συσκευών δεδομένων. Ο ελεγκτής είναι υπεύθυνος για την διασφάλιση της διαδικασίας, ενώ ο μάνατζερ του δικτύου είναι

υπεύθυνος για την δρομολόγηση και την κίνηση εντός του δικτύου



Εικόνα 17: Πρωτόκολλο WirelessHart[31]

1.7.7 LoRaWAN

Το πρωτόκολλο LoRa είναι το φυσικό επίπεδο ή η ασύρματη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται για να δημιουργηθούν μεγάλης εμβέλειας σύνδεσμοι επικοινωνίας. Βασίζεται σε τεχνική διαμόρφωσης διευρυμένου φάσματος, η οποία διατηρεί τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και η FSK διαμόρφωση, η οποία χρησιμοποιείται συνήθως από ασύρματα δίκτυα, επιτυγχάνοντας έτσι χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αλλά ταυτόχρονα αυξάνοντας σημαντικά την επικοινωνιακή εμβέλεια.[19],[23].

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα του LoRa είναι η μεγάλη εμβέλεια που μπορεί να παρέχει η τεχνολογία του. Ολόκληρες πόλεις ή εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα μπορούν να καλυφθούν με μία μόνο πύλη(gateway) ή έναν σταθμό βάσης. Η εμβέλεια του δικτύου επηρεάζεται κυρίως από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες ή τα εμπόδια που προκύπτουν στην εκάστοτε περιοχή [25],[26]. Σε αστικές περιοχές καλύπτει

IEEE 802.15.4 ZigBee	2,4 GHz	250Kbps	100m	Χαμηλή
IEEE 802.16 WiMax	2,4GHz	0,4 – 100 Mbps	50km	Υψηλή
WirelessHART	2,4GHz			Χαμηλή
LoRaWAN		290bps – 50Kbps	Έως 45km	Χαμηλή

Πίνακας 1: Σύνοψη Πρωτοκόλλων Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων [33]

1.8 Ασφάλεια στα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Η ασφάλεια στα Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια στην ανάπτυξή τους. Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία αναπτύσσεται ένα δίκτυο, η ασφάλεια του αποτελεί ίσως και το πιο σημαντικό κομμάτι.

Η ασφάλεια ενός δικτύου αποτελεί την ικανότητα του δικτύου να προστατεύσει τα δεδομένα του από υποκλοπές και αλλοιώσεις ή ακόμα και από τη μη εξουσιοδοτημένη χρήση τους, εφόσον η εφαρμογή για την οποία αναπτύσσεται το δίκτυο, είναι διαθέσιμοι προς όλους[35].

Για να θεωρηθεί ένα σύστημα ασφαλές, πρέπει να εξασφαλίζονται οι εξής παράγοντες:

- Εμπιστευτικότητα

Εμπιστευτικότητα αποτελεί την πρόληψη παροχής δεδομένων σε μη εξουσιοδοτημένους παραλήπτες. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διακίνηση των πληροφοριών μόνο σε εξουσιοδοτημένους ή πιστοποιημένους χρήστες.

Η πιστοποίηση των χρηστών γίνεται μέσω της χρήσης κλειδιών για την επικοινωνία τους. Τα κλειδιά αυτά τα διαθέτουν μόνο οι εξουσιοδοτημένοι χρήστες. Η ανταλλαγή αυτών των κλειδιών γίνεται μέσω αλγορίθμων όπως κρυπτογράφηση δημοσίου κλειδιού ή συμμετρικού κλειδιού.

- Ακεραιότητα

Ακεραιότητα των δεδομένων αποτελεί η επιβεβαίωση ότι τα δεδομένα έχουν αποσταλεί στο σύνολό τους, αλλά και ότι δεν έχουν υποστεί επεξεργασία ή αλλοίωση. Για την εξασφάλιση της ακεραιότητας, κατά τη μετάδοση των δεδομένων χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι κρυπτογράφησης.

- Αυθεντικότητα

Αυθεντικότητα ή γνησιότητα των δεδομένων ονομάζεται η τεχνική με την οποία ένας κόμβος πιστοποιεί την ταυτότητα εκείνου με τον οποίο ανταλλάσσει δεδομένα. Χωρίς τη λειτουργία αυτή, ένας μη εξουσιοδοτημένος κόμβος μπορεί να εκμαιεύσει πληροφορίες του δικτύου, συγκαλύπτοντας την ταυτότητά του και παριστάνοντας έναν άλλον κόμβο. Έλλειψη της λειτουργίας αυτής, μπορεί να οδηγήσει όχι μόνο σε εκμείευση πληροφοριών, αλλά και σε παρέμβαση σε σημαντικές λειτουργίες άλλων κόμβων, και κατά επέκταση ολόκληρου του δικτύου.

Οι γενικοί κανόνες που βοηθούν στην πιστοποίηση των κόμβων είναι οι εξής:

1. Αυτός που ξεκινάει τη διαδικασία θα πρέπει να αποδεικνύει την ταυτότητά του πριν χρειαστεί να το ζητήσει ο αποδέκτης.
2. Οι δύο πλευρές θα πρέπει να χρησιμοποιούν διαφορετικά κλειδιά για απόδειξη της ταυτότητάς του, τα οποία θα πρέπει να είναι από διαφορετικά σύνολα.

Παράγοντες που επηρεάζουν την ασφάλεια των Ασύρματων Δικτύων αισθητήρων

- Ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των οντοτήτων και κόμβων του δικτύου.

Καθώς τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων χρησιμοποιούν ασύρματα κανάλια μετάδοσης δεδομένων, είναι πιο ευπαθής σε σχέση με τα ενσύρματα, καθώς στα ενσύρματα κανάλια επικοινωνίας, θα πρέπει να αποκτηθεί φυσική πρόσβαση στα καλώδια του δικτύου.

- Περιορισμοί Υλικού

Καθώς στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων η διαχείριση του δικτύου γίνεται απομακρυσμένα, χωρίς φυσική παρουσία του κόμβου εξυπηρετητή, οι παράμετροι ασφαλείας του δικτύου, πρέπει να εφαρμοστούν σε όλους τους κόμβους, και όχι μόνο

στον κεντρικό κόμβο[35]. Σύμφωνα με το παραπάνω η διαδικασία γίνεται πιο πολύπλοκη, και πολλές φορές αδύνατη στην υλοποίησή της[36].

- Περιορισμένη διαθέσιμη μνήμη

Λόγω του μεγέθους των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, υπάρχει περιορισμένη διαθέσιμη μνήμη[36]. Αυτό σημαίνει ότι είτε παραλείπεται εντελώς ο αλγόριθμος ασφαλείας ή περιορίζεται σημαντικά, τελώντας μόνο τις απαραίτητες λειτουργίες, οι οποίες πιθανόν να μην είναι αποτελεσματικές.

- Περιορισμένη διαθέσιμη ενέργεια

Λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης ενέργειας των ασύρματων δικτύων, η εφαρμογή πολύπλοκων διεργασιών, όπως αλγόριθμους κρυπτογράφησης, αυξάνουν την κατανάλωση ενέργειας στους κόμβους, με αποτέλεσμα το δίκτυο να βγαίνει εκτός λειτουργίας σε συντομότερο χρονικό διάστημα[36].

- Δρομολόγηση

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων η δρομολόγηση γίνεται σε κάθε κόμβο ξεχωριστά, τουλάχιστον μέχρι και τον κόμβο εξυπηρετητή, εάν αυτός υπάρχει[35]. Η διαδικασία της αυθεντικοποίησης μπορεί να εγγραφεί την αποστολή ή λήψη πακέτων μόνο από εξουσιοδοτημένους κόμβους, όμως δεν μπορεί να εγγραφεί τη σωστή δρομολόγηση των πακέτων[36].

1.9 Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αρχικά δημιουργήθηκαν για την ανάπτυξη στρατιωτικών εφαρμογών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας όμως οδήγησε στην δημιουργία νέου τύπου αισθητήρων, με αποτέλεσμα την υιοθέτησή τους στους περισσότερους τομείς της καθημερινότητας[36].

Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων είναι ευρέως χρησιμοποιούμενα στο στρατό μίας χώρας, καθώς μέσω αυτών μπορεί να επιτευχθούν δράσεις που διασφαλίζουν την

άμυνα και κατ' επέκταση την ασφάλεια μίας χώρας. Στις δράσεις αυτές ανήκουν η εποπτεία και ο έλεγχος του στρατιωτικού εξοπλισμού και ανθρώπινου δυναμικού, καθώς τυχόν σφάλματα σε στρατιωτικό υλικό ή στον χειρισμό του, μπορεί να επιφέρει σημαντικές συνέπειες σε στρατιωτικές δράσεις.

Επιπλέον, η χρήση τους σε επίπεδο στρατιωτικών ασκήσεων μπορεί να συμβάλει στην διόρθωση τυχών αστοχιών στο εκάστοτε σχέδιο, είτε λόγω γεωγραφικής δυσκολίας, είτε λόγω ανθρώπινου παράγοντα[36]. Αυτό διασφαλίζεται με την παρακολούθηση του εδάφους ώστε να παρατηρηθούν τυχόν δυσκολίες, αλλά και με την γεωγραφική παρακολούθηση των στρατευμάτων, ώστε να μπορεί να προσφερθεί άμεση ιατρική βοήθεια ή βοήθεια διαφυγής. Επιπρόσθετα, μέσω των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων, μπορούν να προσδιοριστούν οι γεωγραφικές τοποθεσίες πυρομαχικού υλικού, είτε αυτό βρίσκεται στο έδαφος είτε στον αέρα. Με τη χρήση αισθητήρων μπορεί να προσδιοριστεί η ακριβής τοποθεσία εκρηκτικού υλικού, μολυσμένων σημείων στο έδαφος ώστε να αποφεύγονται αλλά και την ακριβή τοποθεσία εναέριων πυρομαχικών, σε περίπτωση εναέριας επίθεσης.

Εφαρμογές στην κατασκευή Κτιρίων.

Οι πολιτικοί μηχανικοί κατά την κατασκευή ενός κτιρίου, ενός δρόμου χρησιμοποιούν ασύρματους αισθητήρες για τη συνεχή παρακολούθηση του έργου τους, έτσι ώστε να μπορούν να ελέγχουν τρέχουσα κατάσταση του έργου τους και κυρίως να ελέγχουν ανά πάσα στιγμή την επικινδυνότητα του. Επιπλέον, εφόσον το έργο τους έχει ολοκληρωθεί, η χρήση Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων τους προσφέρει την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο τη συμπεριφορά του έργου τους σε φυσικά φαινόμενα, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχή βελτίωση τους[37].

Βιομηχανικές εφαρμογές

Τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων χρησιμοποιούνται ευρέως στον τομέα της βιομηχανίας καθώς της προσφέρει σημαντικά οφέλη, όπως ο έλεγχος των μηχανών της εκάστοτε βιομηχανίας αλλά και η παρακολούθηση των συνθηκών εντός και εκτός της επιχείρησης[36]. Με την παρακολούθηση των μηχανών παραγωγής και την λεπτομερή καταγραφή του τρόπου λειτουργίας τους, η επιχείρηση μπορεί να μειώσει

το κόστος παραγωγής του προϊόντος της, ή ακόμα και να αυξήσει την ποσότητα προϊόντων που παράγει, καθώς μπορεί να εντοπίσει αστοχίες στην διαδικασία παραγωγής. Σύμφωνα με αυτό, μπορεί η επιχείρηση και να ασφαλίσει την ακεραιότητα των προϊόντων της, καθώς καθιστά σχεδόν αδύνατη την κλοπή των προϊόντων. Επιπλέον, η χρήση των ασύρματα δίκτυα στην βιομηχανία παρέχουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και διαχείρισης των αποθηκών της επιχείρησης. Τοποθετώντας αισθητήρες εντός της αποθήκης, ο διαχειριστής μπορεί να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την ακριβή τοποθεσία των προϊόντων του[37].

Τέλος, ίσως η πιο σημαντική εφαρμογή στον τομέα της βιομηχανίας, είναι η παρακολούθηση του χώρου εργασίας εντός και εκτός του χώρου εργασίας. Καθώς οι βιομηχανικές ζώνες βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, οι οποίες έχουν πιο επικίνδυνες συνθήκες εργασίας από το σύνηθες(π.χ. ορυχεία, πλατφόρμες πετρελαίου), η χρήση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων μπορεί να προβλέψει τυχόν περιβαλλοντικούς κινδύνους, και να προστατέψει έτσι το περιβάλλον αλλά και τους ίδιους τους εργαζόμενους[37].

Οικιακές εφαρμογές

Η χρήση των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων σε εμπορικές και οικιακές εφαρμογές είναι ίσως η πιο διαδεδομένη χρήση τους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα έξυπνα σπίτια. Στα έξυπνα σπίτια ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί ορισμένες ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις με σκοπό την διευκόλυνση της καθημερινότητάς του. Ενσωματώνοντας ένα δίκτυο αισθητήρων εντός του κτιρίου, επιτυγχάνεται η αυτοματοποίηση ορισμένων λειτουργιών, η παρακολούθηση των οποίων μπορεί να αποφέρει σημαντική μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του σπιτιού[37]. Ταυτόχρονα το δίκτυο αισθητήρων αντιλαμβάνεται κινήσεις εκτός του προκαθορισμένου και μπορεί να συμβάλει στην ασφάλεια του ιδιοκτήτη και της παρουσίας του, εάν τυχόν εντοπίσει τέτοιες κινήσεις. Σημαντικό χαρακτηριστικό των έξυπνων σπιτιών είναι η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου και παρακολούθησης των λειτουργιών του. Το δίκτυο αυτό μπορεί να επεκταθεί και σε οικιακές συσκευές, ώστε να μπορούν να ελέγχονται απομακρυσμένα και αυτοματοποιημένα, γεγονός που συμβάλει στην άνεση του χρήστη, αλλά και σε άμεση παροχή βοήθειας σε περίπτωση χρηστών με ιατρικά προβλήματα[35].

Εμπορικές Εφαρμογές

Σημαντικό κομμάτι των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η υιοθέτησή τους σε εμπορικές εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές επεκτείνονται κυρίως σε τεχνολογικό επίπεδο όπως ασύρματες επικοινωνίες χρηστών ή συσκευών μεταξύ τους και ασύρματου εξοπλισμού(πληκτρολόγια, οθόνες). Σε αυτόν τον τομέα, η χρήση Ασύρματων Δικτύων διευκολύνει στην κινητικότητα του εξοπλισμού

Εφαρμογές στον χώρο της Υγείας

Τα ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων στον τομέα της υγείας εκτείνονται κυρίως στον τομέα του BSN (body sensor network), ο οποίος παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των ζωτικών λειτουργιών του ασθενούς. Μέσω των αισθητήρων αυτών μπορούν να ληφθούν πιο αξιόπιστες αποφάσεις για την πορεία της υγείας του ασθενή, αλλά και ενδεχομένως να εντοπιστούν θέματα υγείας που χρειάζονται άμεση θεραπεία και ενδεχομένως να μην μπορούσαν να εντοπιστούν με διαφορετική προσέγγιση[35]. Επιπλέον, ορισμένοι αισθητήρες παρέχουν την δυνατότητα ανίχνευσης αλλεργιών με σκοπό την πρόληψη τυχόν παρενεργειών από φάρμακα. Το κομμάτι αυτό μπορεί να επεκταθεί και σε περιπτώσεις κατ' οίκων παρακολούθησης, ώστε να παρέχεται στους ασθενείς καλύτερη ποιότητα ζωής, και άμεση παρακολούθηση από ιατρικό προσωπικό[37].

Περιβαλλοντικές εφαρμογές

Η χρήση Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων υιοθετείται όλο και πιο συχνά σε περιβαλλοντικές εφαρμογές τα τελευταία χρόνια, καθώς προσφέρει μεγάλη ποικιλία δυνατοτήτων στους παραγωγούς και στους μελετητές. Οι δυνατότητες αυτές επεκτείνονται από την παρακολούθηση της συγκομιδής μέχρι και την παρακολούθηση ολόκληρου του φυσικού περιβάλλοντος της καλλιέργειας. Οι δυνατότητες αυτές ανήκουν στον τομέα τη Γεωργίας Ακριβείας ή Έξυπνης Γεωργίας και αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2 Εισαγωγή στην Γεωργία Ακριβείας

2.1 Ορισμός και Βασικά Χαρακτηριστικά

Γεωργία Ακρίβειας (Precision Farming, Precision Agriculture, Site Specific Farming), ονομάζεται η μέθοδος γεωργικής πρακτικής, που χρησιμοποιεί πληροφορίες με σαφήνεια προσδιορισμένων ως προς το χώρο ή και το χρόνο, προκειμένου να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα των εισροών ή και να ελαχιστοποιήσει τις βλαβερές τους συνέπειες (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000)

Η Γεωργία Ακριβείας είναι μία προσέγγιση κατά την οποία η γεωργική παραγωγή τροφοδοτείται με την βέλτιστη ποσότητα πόρων που απαιτούνται, για το βέλτιστο χρονικό διάστημα, γεγονός που προκύπτει από την αξιοποίηση των κατάλληλων τεχνολογικών μέσων και γεωργικών παραμέτρων, όπως η υγρασία και η θερμοκρασία του εδάφους, αλλά και η υγρασία των φύλλων

Κύριος στόχος της Γεωργίας Ακριβείας είναι η καλύτερη διαχείριση του αγροκτήματος και της παραγωγής του. Αυτό επιτυγχάνεται βελτιώνοντας την οικονομική απόδοση του αγροκτήματος, είτε αυξάνοντας την παραγωγή, είτε μειώνοντας τις εισροές, ή ακόμα συνδυάζοντας και τα δύο. Η Γεωργία Ακριβείας επιτρέπει στους παραγωγούς να αναγνωρίζουν τις διακυμάνσεις ποιότητας και ποσότητας στην παραγωγή τους. Αξιοποιώντας την τεχνολογία της Γεωργίας Ακριβείας, είναι δυνατή η προσαρμοσμένη φροντίδα της παραγωγής του αγροκτήματος, εφαρμόζοντας την αναγκαία μόνο ποσότητα εισροών σε κάθε σημείο του αγρού. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών, βελτίωση της ποιότητας των παραγομένων προϊόντων, αποδοτικότερη χρήση των αγροχημικών, εξοικονόμηση της ενέργειας και προστασία του εδάφους και των νερών από την ρύπανση.

Εάν επιτευχθούν τα παραπάνω θεωρείται αναμενόμενο να περιοριστούν οι αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον και κατά συνέπεια να υπάρξει αειφόρος διαχείριση.

2.2 Συλλογή δεδομένων στην Γεωργία Ακριβείας

2.2.1 Αισθητήρες εδάφους

Οι αισθητήρες εδάφους επιτρέπουν την περιοδική συλλογή δεδομένων ή φωτογραφιών εντός της καλλιέργειας, με σκοπό την παρακολούθηση του αγροκτήματος[37]. Οι αισθητήρες αυτοί καθιστούν δυνατή όχι μόνο την παρακολούθηση των μεταβολών του φυτού της καλλιέργειας, της περιεκτικότητας του εδάφους σε χημικά στοιχεία και σε υγρασία, αλλά και την ορθή διαχείρισή τους[37].

Ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε αγροκτήματος, αξιοποιούνται διαφορετικά ήδη αισθητήρων. Οι πιο κοινοί αισθητήρες για τη γεωργία ακριβείας είναι οι εξής:

1. Αισθητήρες Υγρασίας εδάφους/φυλλώματος
2. Αισθητήρες Αζώτου
3. Αισθητήρες Θερμοκρασίας
4. Θερμικοί αισθητήρες
5. Ορατοί Αισθητήρες Φωτός(RGB)

2.2.2 Μη επανδρωμένα Αεροσκάφη

Αποτελούν ιπτάμενα οχήματα χωρίς χειριστή στην άτρακτό τους. Οι πτήσεις που πραγματοποιούν είναι είτε αυτόνομα, είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Η παρακολούθηση των καλλιεργειών με μη επανδρωμένα αεροσκάφη καθιστά δυνατή την συλλογική παρακολούθηση της καλλιέργειας και των αγροκτημάτων από τους αγρότες. Επιπλέον, είναι πιο εύκολο να ανιχνευθούν αλλαγές στην καλλιέργεια, αλλά και αποκλίσεις από τον στόχο της[38]. Οι πληροφορίες που συλλέγονται από τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη, δεν ήταν εύκολο να εντοπιστούν από αισθητήρες σε εδαφικό επίπεδο ή από τους ίδιους τους αγρότες. Οι τεχνολογίες μη επανδρωμένων αεροσκάφων υποστηρίζουν τις περισσότερες λειτουργίες της Γεωργίας ακριβείας, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια. [38]

2.2.3 Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση είναι η λειτουργία η οποία επιτρέπει την εξ αποστάσεως συλλογή δεδομένων και παρακολούθηση καλλιεργειών. Οι δύο πιο συνηθισμένες μέθοδοι τηλεπισκόπησης είναι οι αεροφωτογραφίες και οι δορυφορικές εικόνες. Οι εικόνες αυτές μπορούν να συσχετιστούν και να συμβάλουν στη βελτιστοποίηση της απόδοσης του αγροκτήματος, είτε εντοπίζοντας ελλείψεις θρεπτικών συστατικών για την καλλιέργεια, είτε μετρώντας την ανακλώμενη ακτινοβολία από τα φυτά. Έχοντας στοιχεία για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται από την καλλιέργεια, μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες για την περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε νερό ή ακόμα και για τη θρεπτική κατάσταση της καλλιέργειας[38]. Στόχος της τηλεπισκόπησης είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής, μέσω προσαρμοσμένης φροντίδας της καλλιέργειας, ανάλογα με τις ανάγκες της κάθε περιοχής ή ακόμα και του κάθε αγροτεμαχίου[38].

2.2.4 Οπτικοί αισθητήρες Μη επανδρωμένων Αεροσκαφών

Οι οπτικοί αισθητήρες παρακολουθούν διάφορες παραμέτρους των αγροκαλλιεργειών[38], όπως

- το χρώμα και την υφή της βλάστησης
- το γεωμετρικό περίγραμμα των καλλιεργειών,
- πληροφορίες οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση του ύψους των φυτών, της βιομάζας, της υγείας και άλλων χαρακτηριστικών των καλλιεργειών σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης.

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα μη επανδρωμένα αεροσκάφη περιορίζονται από το ωφέλιμο φορτίο τους. Το φορτίο αυτό πρέπει να διατηρεί χαμηλό βάρος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μικρό μέγεθος, χωρίς όμως να θυσιάζουν την ακρίβειά τους, η οποία θα πρέπει να παραμένει υψηλή. Οι αισθητήρες αυτοί, ανάλογα με την εφαρμογή και το διαθέσιμο εύρος χρημάτων μπορεί να είναι οι εξής:

- Η ψηφιακή φωτογραφική μηχανή (RGB)
- Η πολυφασματική κάμερα
- Η υπέρυθη θερμική απεικόνιση
- Η υπερφασματική κάμερα [39]

2.2.5 Αισθητήρες εντοπισμού θέσης

Το σύστημα Παγκόσμιας Γεωγραφικής θέσης, γνωστό και ως GPS (Global Positioning System) αποτελεί το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης, το οποίο αποτελείται από 24 δορυφόρους και αναπτύχθηκε από το Αμερικανικό Υπουργείο Αμύνης. Οι δορυφόροι αυτοί στέλνουν συνεχώς ραδιοκύματα στην επιφάνεια της γης, τα οποία λαμβάνονται από ειδικούς δέκτες και αξιοποιούνται ανάλογα με την εφαρμογή. Η τεχνολογία αυτή αποτελείται από τρία τμήματα, το δορυφορικό τμήμα, το τμήμα ελέγχου και το τμήμα χρηστών[38]. Στη Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιείται για τοπογραφική έρευνα ή σε συνδυασμό με επιπλέον αισθητήρες για την παροχή γεωγραφικών χαρτών απόδοσης, αλατότητας ή άλλων μετρήσιμων στοιχείων, απαραίτητα για την μελέτη της απόδοσης μιας καλλιέργειας ,για τα οποία θα απαιτούνταν χαρτογράφηση. Επιπλέον, έχουν τη δυνατότητα να πλοηγούν γεωργικά μηχανήματα εντός της γεωργικής περιοχής, ώστε να αυξηθεί το ποσοστό της αυτοματοποίησης των λειτουργιών. Βέβαια, χρησιμοποιώντας Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, μειώνεται η ανάγκη για χρήση του GPS, καθώς κάθε αισθητήρας, μαζί με τα δεδομένα που συλλέγει, μπορεί ταυτόχρονα να στείλει και την ακριβή του τοποθεσία[38].

Αντίστοιχες λειτουργίες προσφέρει και το GIS, το οποίο αποτελεί σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών. Συγκεκριμένα είναι μια βάση αποθήκευσης δεδομένων και πληροφοριών για συγκεκριμένες τοποθεσίες. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να ανακληθούν και να επεξεργαστούν οποιαδήποτε στιγμή ζητηθεί. Τα δεδομένα εισέρχονται στο σύστημα ως μετρήσεις και εξέρχονται ως σε μορφή χαρτών και πινάκων. Οι χάρτες αυτοί ονομάζονται θεματικοί και παρουσιάζουν πως κατανέμεται το στοιχείο που μας ενδιαφέρει στο χώρο, π.χ. υγρασία εδάφους[38].

2.2.6 Μετεωρολογικοί σταθμοί

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί αποτελούν ανεξάρτητες μονάδες, οι οποίες εγκαθίστανται, σε διαφορετικές τοποθεσίες σε όλη την έκταση της καλλιέργειας. Αποτελούν σημαντικό κομμάτι για τη γεωργία ακριβείας και για τη μελέτη μίας καλλιέργειας, καθώς μπορούν να παρέχουν πληροφορίες ανά συχνά χρονικά

διαστήματα. Η γνώση των δεδομένων αυτών, διευκολύνει την αποτροπή της καταστροφής μίας καλλιέργειας, λόγω καιρικών φαινομένων.

Τα δεδομένα που λαμβάνουν και σχετίζονται με την γεωργία ακριβείας είναι τα εξής:

1. ροή αέρα
2. ατμοσφαιρική πίεση
3. εποχιακές βροχοπτώσεις
4. επίπεδο υγρασίας αέρος
5. ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου
6. ηλιακή ακτινοβολία

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί αποτελούν σημαντικό συστατικό στοιχείο των τεχνολογιών ΕΟ δεδομένου ότι μπορούν να παρέχουν καθημερινά αγρομετεωρολογικές πληροφορίες σχετικά με το καλλιεργώντας χωράφια.

2.3 Υπηρεσίες και εφαρμογές της Έξυπνης Γεωργίας

2.3.1 Χαρτογράφηση αγρού

Μέσω της λειτουργίας αυτής καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός της ποιότητας του εδάφους, της περιεκτικότητας χημικών στοιχείων του εδάφους (τιμή pH, φωσφόρος, ποτάσσα, μαγνήσιο), αλλά και της σύνθεσης του εδάφους[38]. Με τις παραπάνω μετρήσεις, λαμβάνονται υπόψη λεπτομερείς συλλεγόμενες πληροφορίες σχετικά με τη γονιμότητα του εδάφους και τις πιθανές μεταδιδόμενες ασθένειες, έτσι ώστε να προσαρμοσθεί, και κατά επέκταση να βελτιστοποιηθεί, η διαχείριση της καλλιέργειας και να γίνει δυνατή η σύμπλευση με την εκάστοτε νομοθεσία που μπορεί να ισχύει[38].

2.3.2 Μελέτη φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους

Η παρακολούθηση των φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους αναφέρεται στην χαρτογράφηση της ανάπτυξης των φυτών και συγκεκριμένα της ποσότητας του αζώτου που απαιτείται για την αποτελεσματική καλλιέργεια τους[39]. Για την

παραπάνω λειτουργία χρησιμοποιούνται συνεχείς ή διακριτές φαινολογικές παρακολούθησεις μίας συγκεκριμένης τοποθεσίας καθώς και οπτικοί αισθητήρες για την παρακολούθηση της κατάστασης της καλλιέργειας υπό σκιά, αλλά και της περιεκτικότητάς της σε άζωτο.

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την λήψη τοπικών πληροφοριών της συγκομιδής σχετικά με την καλλιέργεια και την κατάσταση του εξοπλισμού της καλλιέργειας με σκοπό τη βέλτιστη απόδοση της παραγωγής. Η άμεση μέτρηση υγρασίας ή ξηρότητας του εδάφους και της παραγωγής, η πυκνότητα της παραγωγής σε σχέση με τη συνολική έκταση του αγροκτήματος αλλά και η συχνότητα της συγκομιδής της παραγωγής, αποτελούν μερικές από τις πληροφορίες που μπορούν να συλλεχθούν [39].

2.3.3 Πρόβλεψη Εισροών καλλιέργειας.

Κατά τη διάρκεια της σποράς, της λίπανσης και του ψεκασμού, εφαρμόζονται διαφορετικές εισροές, σύμφωνα με την ακριβή χαρτογράφηση και παρακολούθηση των αναγκών της καλλιέργειας και του εδάφους. Το παραπάνω επιτυγχάνεται με τη συλλογή πληροφοριών για το έδαφος αλλά και την καλλιέργεια, με δύο τρόπους, είτε με βάση τη χαρτογράφηση της περιοχής, είτε με τη χρήση αισθητήρων. Και για τους δύο τρόπους είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση και η δειγματοληψία εντός του αγροκτήματος[39]. Για την πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται χάρτες εφαρμογής και το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού, το οποίο καθορίζει τη θέση εντός του αγροκτήματος, ενώ για την δεύτερη συλλέγονται δεδομένα από την κίνηση αισθητήρων εντός του αγροκτήματος. Οι πληροφορίες που συλλέγονται μεταδίδονται σε πρόγραμμα διαχείρισης των εισροών του αγροκτήματος. Με αυτόν τον τρόπο, καθίσταται δυνατή η ειδική επεξεργασία περιοχών εντός του αγροκτήματος με μεταβλητά επίπεδα παραγωγής[39].

2.3.4 Ανίχνευση ασθενειών

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την παρακολούθηση και κατά επέκταση την αξιολόγηση καλλιεργειών, στον τομέα της υγείας τους. Κατά τη λειτουργία αυτή, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός τυχόν αστοχιών και προβλημάτων στην καλλιέργεια,

όσον αφορά ασθένειες στα φυτά. Σε περίπτωση που εντοπιστεί μία τέτοια ασθένεια, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός της αρχής της μόλυνσης. Εφόσον εντοπιστεί η αρχή και το είδος της ασθένειας, τότε είναι εφικτή και η αντιμετώπισή της, ή ακόμα και η πρόληψή της, εφόσον εντοπιστεί σε αρχικό στάδιο της ασθένειας.

Κατά τον εντοπισμό της ασθένειας ενεργοποιείται η λειτουργία χαρτογράφησης της περιοχής, όσον αφορά τις αλλαγές στη βιομάζα των φυτών και την αλλαγή της κατάστασής τους. Η απεικόνιση αυτή συμβάλει σημαντικά στη πρόληψη της ασθένειας, και δίνεται η δυνατότητα στους αγρότες να παρέμβουν για να μειώσουν τις απώλειες στην καλλιέργεια. Εφόσον εντοπιστεί η ασθένεια, ενεργοποιείται η λειτουργία πρόβλεψη λιπάσματος, έτσι ώστε οι καλλιεργητές να εφαρμόσουν την κατάλληλη ποσότητα χημικών ουσιών στο κατάλληλο σημείο της καλλιέργειας.

2.3.5 Ανίχνευση ζιζανίων

Η λειτουργία της ανίχνευσης των ζιζανίων παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού τυχόν ζιζανίων εντός της καλλιέργειας, αλλά της πυκνότητάς τους ανά περιοχή. Για την αντιμετώπισή τους, η συνήθης πρακτική είναι η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων, για τη διατήρηση της ποιότητας και της ποσότητας της καλλιέργειας.

Όπως και κάθε χημικό στοιχείο που εφαρμόζεται εντός του αγροκτήματος, η ακατάλληλη χρήση των ζιζανιοκτόνων οδηγεί σε μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας και σε περιβαλλοντική ρύπανση. Για το λόγο αυτό, ενεργοποιείται η λειτουργία πρόβλεψης εισροών, έτσι ώστε να εφαρμόζεται η κατάλληλη ποσότητα ζιζανιοκτόνων, στο κατάλληλο σημείο της καλλιέργειας, σε αντίθεση με την κοινή πρακτική εφαρμογής τους σε ολόκληρη την έκταση της καλλιέργειας.

2.3.6 Διαχείριση ποτίσματος

Η λειτουργία αυτή, επιτρέπει την άρδευση της καλλιέργειας λαμβάνοντας υπόψη πληροφορίες όπως η ποιότητα του και η υγρασία του εδάφους. Εφαρμόζοντας τεχνικές άρδευσης ακριβείας αυξάνεται η αποδοτικότητα της χρήσης του νερού. Με τη λειτουργία αυτή, δεν γίνεται ομοιόμορφη άρδευση εντός της καλλιέργειας, αλλά το νερό σε κάθε σημείο της καλλιέργειας, εφαρμόζεται λαμβάνοντας υπόψη τη θέση του

φυτού, στον κατάλληλο χρόνο και με το σωστό ρυθμό. Σύμφωνα με τα παραπάνω εξοικονομείται μεγάλη ποσότητα πόρων νερού και εξασφαλίζεται η αύξηση της ποιότητας και της απόδοσης της καλλιέργειας, αφού προλαμβάνονται φαινόμενα πλημμύρας ή ξηρασίας.

2.3.7 Πρόβλεψη και βελτιστοποίηση απόδοσης παραγωγής (Yield Monitoring System)

Τα συστήματα αυτά μετρούν και καταγράφουν την ποσοτική και ποιοτική απόδοση της καλλιέργειας κατά τη συγκομιδή της[38]. Είναι σημαντική η καταγραφή των αποτελεσμάτων σε πίνακες οι οποίοι συσχετίζουν τα αποτελέσματα με την ακριβή τοποθεσία των φυτών της καλλιέργειας, είτε μέσω GPS είτε μέσω της ακριβούς τοποθεσίας που στέλνει ο κάθε αισθητήρας, ώστε να ελέγχεται εάν λειτουργεί αποδοτικά η λειτουργία της μεταβλητής δόσης.

2.3.8 Αυτόματη πλοήγηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών

Η αυτόματη πλοήγηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών αναφέρεται στην συλλογή πληροφοριών από τις αγροκαλλιέργειες μέσω φωτογραφιών. Οι συσκευές αυτές για την πλοήγησή τους διαθέτουν συστήματα αυτόματου πιλότου, αλλά και αισθητήρες μέτρησης της απόστασης από το έδαφος, ή ακόμα και αισθητήρες για τη δύναμη του αέρα[38].

Τα πεδία εφαρμογής τους στην παρακολούθηση των αγροκαλλιεργειών συνεχώς επεκτείνονται ώστε να υποστηρίζουν ένα μεγάλο φάσμα γεωργικών εργασιών.

2.3.9 Ανάλυση και επεξεργασία καλλιεργητικών δεδομένων.

Ο σκοπός της τεχνολογίας αυτής είναι η αυτοματοποιημένη συγχώνευση δεδομένων διαφορετικών αισθητήρων, και η ανάλυσή τους. Σκοπός είναι η λήψη αποφάσεων σε πραγματικό χρόνο, με βάση τις λαμβανόμενες πληροφορίες και δεδομένα, ώστε να διορθώνονται τυχόν λάθη στην φροντίδα της καλλιέργειας, αλλά

κυρίως οι αποφάσεις που λαμβάνονται να είναι σφαιρικές και να ανταποκρίνονται στις συνολικές ανάγκες της καλλιέργειας, χωρίς να βοηθούν ένα συγκεκριμένο κομμάτι δυσκολεύοντας όμως ένα άλλο. Για την επίτευξη της παραπάνω λειτουργίας χρησιμοποιούνται αισθητήρες με δυνατότητα ταυτόχρονης μέτρησης πολλών παραμέτρων, οι οποίοι ενσωματώνονται αργότερα στα προϊόντα.

2.3.10 Ανίχνευση ανεπιθύμητων Ζώων σε καλλιέργειες

Κατά τη λειτουργία αυτή λαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της καλλιέργειας, όσον αφορά την παρουσία ζώων εντός αυτής, αλλά και τη συμπεριφορά τους κατά τη διάρκειά παρουσίας τους εκεί. Με τη λειτουργία αυτή παρακολουθούνται αυτές οι ενέργειες των ζώων, για τη διασφάλιση της ακεραιότητας της παραγωγής.

2.3.11 Ειδοποίηση Καλλιεργητικών κινδύνων

Η διαχείριση του αγροκτήματος και της καλλιέργειας προϋποθέτει την υιοθέτηση ενός λογισμικού αυτόματης καταγραφής συμβάντων, ανεπτυγμένο για τις λειτουργίες που απαιτούν παρακολούθηση εντός ενός αγροκτήματος. Σκοπός της είναι η διαχείριση των συλλεγμένων δεδομένων ή πληροφοριών και η υποστήριξη αποτελεσματικών αποφάσεων. Η λειτουργία αυτή λαμβάνει υπόψη της όλες τις προαναφερθείσες λειτουργίες.

2.4. Πλεονεκτήματα χρήσης Γεωργίας ακριβείας

Η υιοθέτηση των τεχνολογιών και λειτουργιών της Γεωργία Ακριβείας μπορεί να προφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στις καλλιέργειες των αγροτών, όσον αφορά την απόδοση και την ποιότητα, αλλά και να διασφαλίσει την ασφάλεια της παραγωγής και του ανθρώπινου παράγοντα.

Με τη γεωργία ακριβείας λαμβάνονται δεδομένα πραγματικού χρόνου σχετικά με την καλλιέργεια και τις συνθήκες εντός του αγροκτήματος, τα οποία συλλέγονται με βάση τη θέση των φυτών εντός του αγροκτήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την

προσαρμοσμένη φροντίδα της κάθε περιοχής. Προσαρμόζοντας τα ποσοστά λιπάσματος, νερού και χημικών ουσιών που εφαρμόζονται σε κάθε περιοχή του αγροκτήματος, όχι μόνο βελτιώνεται η ποιότητα της παραγωγής, αλλά προκύπτουν και οικονομικά οφέλη για τους αγρότες, καθώς δεν χρησιμοποιούν περιττές ποσότητες πόρων, χημικών ουσιών ή καυσίμων. Ταυτόχρονα, η προσαρμοσμένη φροντίδα του αγροκτήματος, έχει σημαντικά οφέλη προς το περιβάλλον, καθώς δεν καταναλώνονται περιττή ενέργεια και περιττά χημικά συστατικά που βλάπτουν το περιβάλλον, αλλά και στην υγεία των ανθρώπων, καθώς μειώνεται η χρήση των χημικών ουσιών.

Επιπλέον μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση ενέργειας που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια ενός αγροκτήματος. Η ενέργεια αυτή μπορεί να αναφέρεται είτε σε καύσιμα, μέσω της προσαρμοσμένης φροντίδας, είτε σε κούραση του ανθρώπινου παράγοντα. Οι αυτοματοποιημένες λειτουργίες της Γεωργίας Ακριβείας μειώνουν σημαντικά τις απαιτήσεις εργασίας του ανθρώπινου παράγοντα, γεγονός το οποίο καθιστά την καλλιέργεια ενός αγροκτήματος πιο διαχειρίσιμη.

Επιπροσθέτως, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η μείωση του κόστους για την καλλιέργεια ενός αγροκτήματος. Παρόλο που η ανάπτυξη και η εγκατάσταση ενός ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων για την Γεωργία Ακριβείας αποτελεί πιο δαπανηρό μέσο καλλιέργειας από τον πατροπαράδοτο τρόπο καλλιέργειας. Όμως η μακροπρόθεσμη χρήση του δικτύου αυτού, επιφέρει σημαντικές οικονομικές απολαβές. Στο αποτέλεσμα αυτό συμβάλλει η μείωση των χρησιμοποιούμενων πόρων εντός του αγροκτήματος, η μείωση των εργατικών χεριών που απαιτούνται για την καλλιέργεια του αγροκτήματος αλλά και η μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας που απαιτείται.

Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα της Γεωργίας Ακριβείας είναι η σημαντική αύξηση της απόδοσης του αγροκτήματος. Λόγω της συνεχούς παρακολούθησης του αγροκτήματος, συχνά και σε πραγματικό χρόνο, αποφεύγονται λάθη και λαμβάνονται αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την άμεση φροντίδα της καλλιέργειας και ταυτόχρονα, για τους λόγους που έχουν ήδη αναφερθεί, η προσαρμοσμένη φροντίδα της καλλιέργειας συμβάλλει σημαντικά στην απόδοση του αγροκτήματος.

2.5 Προκλήσεις

Οι προκλήσεις στην υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας διακρίνονται στις μακροσκοπικές συνθήκες (τεχνολογικοί μετασχηματισμοί και οι επιπτώσεις τους) και στις μικρο-οικονομικές συνθήκες

Στη Ελλάδα παράγοντες σε μακροσκοπικό επίπεδο αποτελούν οι τεχνολογικές υποδομές, η πρόσβαση σε δίκτυα ευρυζωνικότητας και η συνδεσιμότητα. Σε μικρο-οικονομικό επίπεδο προβάλλεται έντονα το κόστος και η αναμενόμενη απόδοση της τελικής επένδυσης σε νέα μηχανήματα ή ενσωμάτωσης π.χ. αισθητήρων σε καλλιεργητική ή μεταποιητική διαδικασία (ΙΜΕ ΓΕΣΕΒΕΕ 2020).

Τα εμπόδια που προκύπτουν και αφορούν τη γεωργία ακριβείας μπορούν να χωριστούν σε τρεις ευρείες κατηγορίες: Στην πρώτη κατηγορία κατατάσσονται εκείνα που προκύπτουν λόγω του τεχνολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται, στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν εκείνα τα εμπόδια που προκύπτουν λόγω του ανθρώπινου παράγοντα και στην τρίτη οι οργανωσιακοί παράγοντες.

2.5.1 Απόκτηση και Χρήση Κατάλληλου Εξοπλισμού

Κύριο εμπόδιο της γεωργίας ακριβείας είναι η έλλειψη του απαραίτητου τεχνολογικού εξοπλισμού και των κατάλληλων εγκαταστάσεων. Καθώς βρισκόμαστε ακόμα στο μεταίχμιο της εφαρμογής της έξυπνης γεωργίας από το ευρύ κοινό, οι υποδομές των αγροκτημάτων δεν εμπεριέχουν ακόμα τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την αποτελεσματική εφαρμογή των λειτουργιών της έξυπνης γεωργίας[40]. Στις προϋποθέσεις αυτές εμπεριέχονται ζητήματα συμβατότητας του εξοπλισμού και υποδομών με τις τρέχουσες τεχνολογικές απαιτήσεις. Τα αγροκτήματα υπολείπονται του απαραίτητου εξοπλισμού, όπως μηχανημάτων με δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων με άλλες συσκευές ή μέσω ενός ευρυζωνικού δικτύου[40]. Ταυτόχρονα τα αγροκτήματα και οι υποδομές των αγροκτημάτων υπολείπονται ασύρματης και ευρυζωνικής κάλυψης, ενώ, σε όσα από αυτά υπάρχει, είναι ανομοιογενής, με αποτέλεσμα η ανταλλαγή δεδομένων μέσω μηχανημάτων, εάν υπάρχουν, και μίας διεπαφής, να είναι αδύνατη. Επιπλέον, προκύπτουν δυσκολίες και οι αγρότες χρειάζονται τεχνολογική υποστήριξη[40]. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα πρότυπα ανταλλαγής δεδομένων μέσω δικτύων αισθητήρων, βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη,

γεγονός που εντείνει το πρόβλημα της μη συμβατότητας των υποδομών των αγροκτημάτων με τις τεχνολογικές απαιτήσεις[40].

2.5.2 Αβεβαιότητα Καλλιεργητών

Το κύριο εμπόδιο που προέρχεται από τον ανθρώπινο παράγοντα, είναι η απροθυμία των αγροτών να υιοθετήσουν τη γεωργία ακριβείας. Δεν έχουν πεισθεί για την εφαρμοσιμότητα και τις επικείμενες θετικές επιπτώσεις της γεωργίας ακριβείας. Σε αυτή την απόφαση συμβάλλουν παράγοντες όπως το κοινωνικό και δημογραφικό προφίλ των απασχολούμενων στο γεωργικό τομέα, η ηλικία, το εκπαιδευτικό και μορφωτικό επίπεδο και η εξοικείωση με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και συνακόλουθα με τις τεχνολογικές εφαρμογές. Σημαντικό ρόλο έχει η ευκολία χρήσης της γεωργίας ακριβείας για τον κάθε αγρότη [40]. Αξιοσημείωτη είναι συχνά η μη προθυμία του αγρότη για αλλαγή του τρόπου εργασίας του, αλλά και το μεγάλος κόστος που απαιτείται για την αγορά και εγκατάσταση εξοπλισμού. Αν και ο εξοπλισμός αποτελεί επένδυση για τον αγρότη εμπεριέχεται οικονομικό ρίσκο.

Οι αγρότες δεν έχουν στη διάθεσή τους επαρκείς πληροφορίες για τη γεωργία ακριβείας για να ενισχύσουν την αντίληψή τους περί χρησιμότητας της γεωργίας ακριβείας.

2.5.3 Έλλειψη μοντέλων για τη λήψη αποφάσεων

Σημαντικές μεταβλητές στην επιλογή χρήσης της γεωργίας ακριβείας αποτελούν το είδος της καλλιέργειας, ο τύπος της ιδιοκτησίας, η περιοχή και το μέγεθος της καλλιέργειας. Το τελευταίο στοιχείο θεωρείται σημαντικότερο και καθοριστικό καθώς οι μεγάλες εκτάσεις οδηγούν σε αυξημένα κέρδη και σε επενδύσεις (Αμπατζίδης 2019)

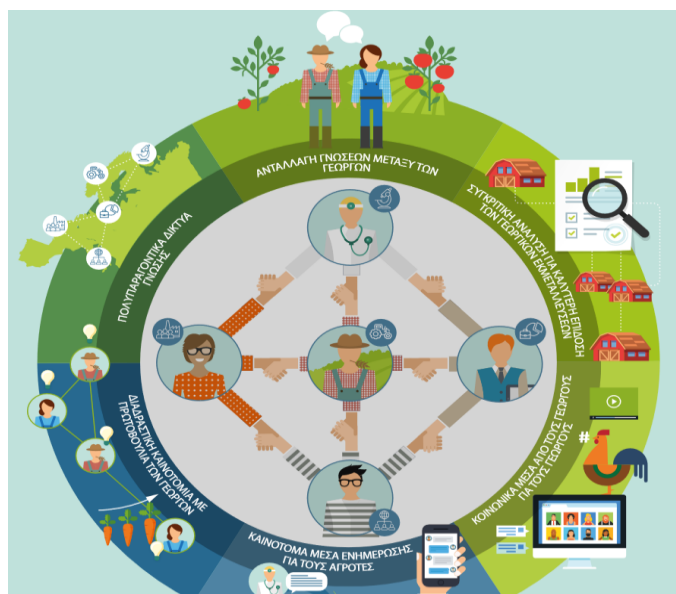
2.5.4 Συμπεράσματα

Τα υπάρχοντα συστήματα της γεωργίας ακριβείας είναι πολύ δαπανηρά σε σύγκριση με τα κέρδη των γεωργών, γεγονός που μαζί με την έλλειψη υποδομών και

τεχνολογικής μόρφωσης του ανθρώπινου παράγοντα, καθιστά την υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας σχεδόν αδύνατη. Για το λόγο αυτό, αρχικά, είναι απαραίτητη η μείωση του κόστους του εξοπλισμού, η δημιουργία φιλικής διεπαφής χρήστη στα προγράμματα λειτουργίας της γεωργίας ακριβείας, ή ακόμα και η δυνατότητα δοκιμαστικής περιόδου χρήσης του εξοπλισμού από τους αγρότες, έτσι ώστε να προβληθεί η ευκολία χρήσης του και τα πλεονεκτήματα της γεωργίας ακριβείας.

Η χρήση τεχνολογιών IoT στη γεωργία προβλέπει τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας μιας αγροτικής επιχείρησης.

Στην παρακάτω εικόνα προτείνεται η δημιουργία δομών καθοδήγησης των αγροτών, δικτύου αγροτών, συνδέσεων με σκοπό την καινοτομία με στόχο την ενημέρωση, αμοιβαία μάθηση και διάχυση πληροφοριών για την γεωργία γενικά αλλά και για τη γεωργία ακριβείας. Απαραίτητη και η σύσταση στελεχωμένων συμβουλευτικών υπηρεσιών για τους αγρότες. Σε εθνικό, τοπικό, περιφερειακό επίπεδο κρίνεται απαραίτητο να οργανωθεί σύστημα υποστήριξης με συμμετέχοντες : συμβούλους, γεωργούς, ερευνητές επιστήμονες, Πανεπιστήμια και ερευνητικά στη γεωργία και το περιβάλλον ιδρύματα, παρόχους εισροών, εμπόρους γεωργικών προϊόντων, φορείς παροχής εκπαίδευσης και κατάρτισης στη δια βίου μάθηση (Εθνικό Αγροτικό Δίκτυο 2019).



Εικόνα 19: Internet of Things στην Γεωργία[42]

2.6 Πρόοδος-εξελίξεις

«Η μελλοντική γεωργία θα είναι η γεωργία της γνώσης. Πρέπει όμως να βεβαιωθούμε ότι προχωράμε σωστά» είπε ο αρμόδιος για θέματα γεωργίας και αγροτικής ανάπτυξης επίτροπος της ΕΕ κ. Phil Hogan(Εθνικό Αγροτικό Δίκτυο 2019:11) [43].

Με τα Συστήματα Γεωργικής Γνώσης και Καινοτομίας άτομα και οργανισμοί συνεργάζονται και προωθούν την αλληλεπίδραση στη μάθηση μέσω της ανταλλαγής και τη χρήσης γνώσεων και πληροφοριών που αφορούν τη γεωργία. Οι συμμετέχοντες προέρχονται από διαφορετικούς χώρους. Οι γεωργοί πρέπει να επιδεικνύουν τις καινοτόμες προσπάθειες στη χρήση της γεωργίας να ενημερώνονται με συναντήσεις και δια ζώσης και μέσω κοινωνικών δικτύων

Οι προτάσεις και οι βιώσιμες λύσεις αν δημιουργούνται από τους γεωργούς και για τους γεωργούς πείθουν πιο άμεσα για τα οφέλη των καινοτομιών στις καλλιέργειες

(Εθνικό Αγροτικό Δίκτυο 2019).

Ευρώπη

Οι πρώτες εφαρμογές της γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργειες μεγάλων εκτάσεων εντοπίζονται από το 1990 στις ΗΠΑ, Δανία, Γερμανία και Μ. Βρετανία (Αγγελάκος 2020).

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή στο πλαίσιο της κοινής γεωργικής πολιτικής (ΚΓΠ) το 2018 διατυπώνει τον στρατηγικό στόχο για την προώθηση της καινοτομίας, επισημαίνοντας ότι συνδέεται με την πρόοδο σχετικά με τις προκλήσεις του αγροτικού χώρου. Η αειφορία και η βιώσιμη παραγωγή χαρακτηρίζουν την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία & ΚΑΠ μετά το 2020.

Διαπιστώνεται ότι η οι προσδοκίες για χρήση νέων τεχνολογιών στις καλλιέργειες διαψεύδονται. Επιπλέον παρατηρείται άνιση κατανομή της χρήσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Υπάρχει μικρότερη πρόσβαση μικρών και μεσαίων γεωργικών εκμεταλλεύσεων στην τεχνολογία.

Παρατηρείται ανισότητα στην πρόσβαση σε αξιόπιστες, χρήσιμες και νέες γνώσεις που καθυστερεί την καινοτομία στις διάφορες περιοχές της ΕΕ.(Ευρωπαϊκή

Επιτροπή 2017). Για να επιτευχθεί αύξηση της χρήσης της γεωργίας ακριβείας στην Ευρώπη απαιτούνται: μακροπρόθεσμος στρατηγικός προγραμματισμός, χρηματοδότηση των αγροτών με ευνοϊκούς όρους, στήριξη μέσα από κέντρα αγροτοδιατροφικής καινοτομίας, υποστήριξη συνεργατικών προσπαθειών των αγροτών, επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με τις υποδομές στην τεχνολογία (ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ 2020)

Ελλάδα

Η εφαρμογή της τεχνολογίας και των μεθόδων της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα βρίσκεται το 2014 σε αρχικό στάδιο όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:



Εικόνα 20: Στατιστικά Στοιχεία Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα [43]

Σήμερα το ποσοστό εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα ορίζεται κάτω του 1% κατά τον ερευνητή ΕΛΓΟ-Δήμητρα Β. Ασchonίτη που δήλωσε επίσης ότι είναι απαραίτητες οι αναγκαίες υποδομές από την Πολιτεία.

Ενώ το επίπεδο γνώσεων των αγροτών για την καινοτόμα γεωργία είναι υψηλό, ειδικότερα για τους γεωργικούς αισθητήρες ανέρχεται στο 57,8%, ο βαθμός χρήσης τους είναι χαμηλός (μόλις 1%), αλλά το ενδιαφέρον των αγροτών για την εφαρμογή των αισθητήρων φτάνει το 56,9% (Αμπατζίδης 2019:37-38).

Το ποσοστό υιοθέτησης των τεχνολογικών εφαρμογών στη γεωργία στην Ελλάδα θεωρείται χαμηλό και αφορά πιλοτικές εφαρμογές σε περιορισμένες περιοχές. Δυσκολίες υπάρχουν, πέρα από το υψηλό κόστος, καθώς το ιδιοκτησιακό καθεστώς είναι οικογενειακό και υπάρχουν πολλές μικρές ιδιοκτησίες(Αμπατζίδης 2019). Απαραίτητος ο σχεδιασμός μιας επίσημης πολιτικής με προσανατολισμό στη γεωργία ακριβείας και στην έξυπνη γεωργία με παράλληλη ενθάρρυνση των νέων αγροτών και αναβάθμιση του ρόλου των αγροτικών συνεταιρισμών σε μοχλό καινοτομίας (Κατηχωρίτης Στέργιος +).Γενικότερα απαραίτητη θεωρείται η αναπροσαρμογή του παραγωγικού μοντέλου προς την καινοτόμο γεωργία ακριβείας (Φουντάς, Γέμτος2019)

Κεφάλαιο 3: Πρωτόκολλο Επικοινωνίας LoRaWAN

Το πρωτόκολλο LoRaWAN αναπτύχθηκε από την εταιρεία Cycleo στη Γαλλία, και αποκτήθηκε από τη Semtech το 2012. Αποτελεί ασύρματη διαμόρφωση, η οποία χρησιμοποιείται για επικοινωνίες μεγάλης απόστασης, χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού μετάδοσης δεδομένων. (Centenaro et al., 2016). Η διαμόρφωσή του βασίζεται στη διαμόρφωση διευρυμένου φάσματος, η οποία διατηρεί τα χαρακτηριστικά της FSK διαμόρφωσης. Λόγω των παραπάνω χαρακτηριστικών αλλά και λόγω της αύξησης των εφαρμογών Internet Of Things, το πρωτόκολλο LoRa υιοθετείται όλο και περισσότερο για την ανάπτυξη εφαρμογών όπως εφαρμογές logistics και εφαρμογές τροφοδοτικών αλυσίδων.

3.1 Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRaWAN (τοπολογία και οντότητες)

3.1.1 Οντότητες Δικτύου

Τελικές Συσκευές:

Οι τελικές συσκευές αποτελούν οποιαδήποτε συσκευή συνδέεται στο δίκτυο LoRaWAN, εντός της περιοχής προς μελέτη. Σε αυτές μπορούν να ανήκουν αισθητήρες ή ενεργοποιητές (actuators). Εφόσον συλλέξουν δεδομένα, μεταφέρουν τα δεδομένα τους στα gateways μέσω του δικτύου LoRa.

Gateways:

Το δίκτυο μπορεί να έχει ένα ή πολλαπλά gateways, ανάλογα με την εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί. Επικοινωνούν απευθείας με τις τελικές συσκευές του δικτύου, μονομερή είτε αμφίδρομα. Είναι υπεύθυνα για τη μεταγωγή των μηνυμάτων που δέχονται στον Server του δικτύου.

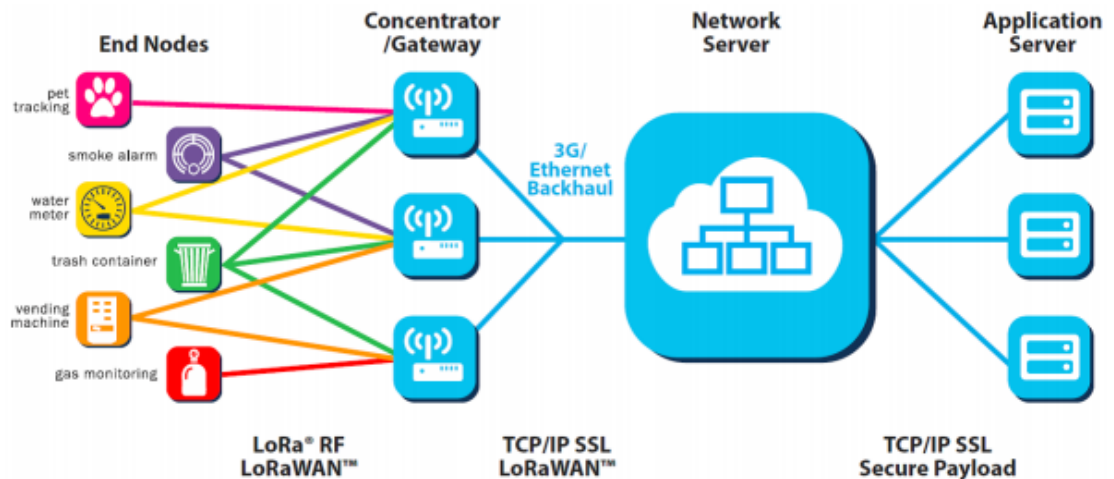
Εξυπηρετητής Δικτύου

Ο server του δικτύου είναι υπεύθυνος για την αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων που λαμβάνει, καθώς και για τη μεταφορά τους στην εκάστοτε εφαρμογή που έχει αναπτυχθεί για το δίκτυο. Επιπλέον, είναι απαραίτητος για την διασφάλιση της ασφαλούς επικοινωνίας μεταξύ αυτού και των εφαρμογών, καθώς και για τις απαιτήσεις ενέργειας του δικτύου.

Εφαρμογή του δικτύου

Η εφαρμογή του δικτύου αποτελεί το κύριο μέσω αλληλεπίδρασης του δικτύου με τον χρήστη. Μέσα από αυτή επιτρέπεται η ανάγνωση και η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, καθώς και ο έλεγχος και προσαρμογή των παραμέτρων του δικτύου.

Παρακάτω ακολουθεί η απεικόνιση της προαναφερθείσας αρχιτεκτονικής δικτύου.



Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική Δικτύου LoraWan[45]

3.1.2 Τοπολογία

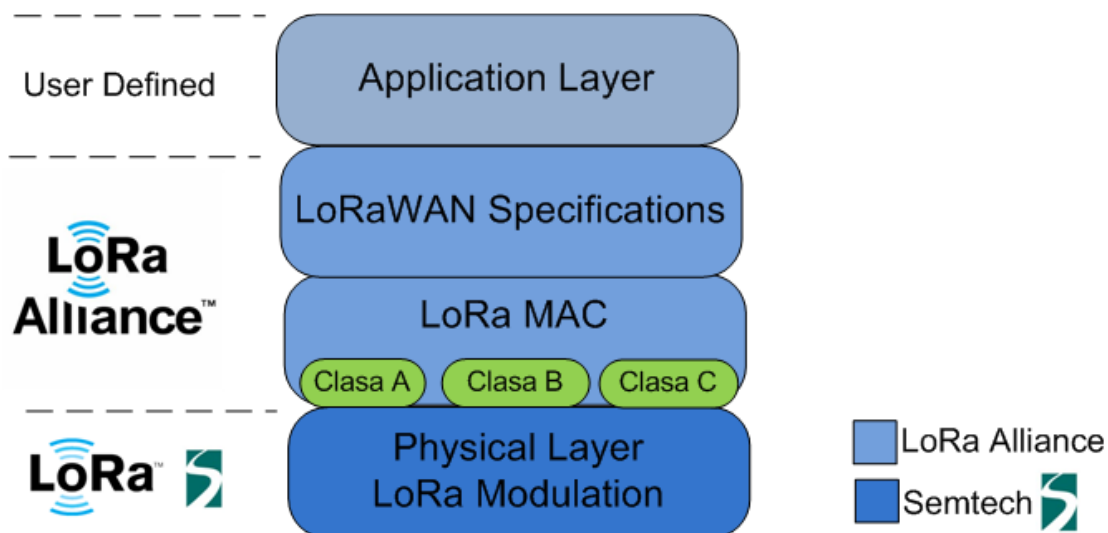
Η πλειοψηφία των Ασύρματων Δικτύων LoRaWAN χρησιμοποιούν τοπολογία αστέρα για την ανάπτυξή τους. Οι τελικές συσκευές συλλέγουν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν από την εφαρμογή. Τα δεδομένα που λαμβάνουν αποστέλλονται στα gateway. Οι τελικές συσκευές του δικτύου μπορούν να μεταδίδουν οποιαδήποτε στιγμή, αρκεί να συμμορφώνονται με τις παραμέτρους του δικτύου, όσον αφορά το μέγιστο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων και το μέγιστο χρόνο μετάδοσης που αντιστοιχεί σε κάθε τελική συσκευή. Υπάρχει δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ τελικών συσκευών και gateway, όμως η κύρια διαδρομή είναι από τις τελικές συσκευές προς τα gateway[46]. Τα μηνύματα που αποστέλλονται δεν συσχετίζονται με ένα συγκεκριμένο gateway του δικτύου, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να παραληφθούν από πολλαπλά gateway.

Κάθε gateway προωθεί τα μηνύματα που λαμβάνει στον Server που έχει επιλεγεί από την εφαρμογή. Ο server αυτός, συνήθως αποτελεί cloud server, και είναι αυτός που λαμβάνει όλες τις απαραίτητες αποφάσεις και ουσιαστικά διαχειρίζεται το δίκτυο[46]. Είναι υπεύθυνος για το φιλτράρισμα των πακέτων που φτάνουν σε αυτόν(κατεστραμμένα πακέτα, διπλότυπα), για την ασφάλεια του δικτύου, καθώς και για τον

προγραμματισμό του ρυθμού δεδομένου του δικτύου(ADR-Adaptive Data Rate). Για να μπορέσουν τα gateway να λειτουργήσουν σε τοπολογία αστέρα, πρέπει είτε να έχουν μεγάλη χωρητικότητα, είτε να μπορούν να δέχονται μηνύματα από πολλαπλούς κόμβους[46].

Οι κόμβοι εντός του δικτύου οφείλουν είναι ασύγχρονοι, το οποίο σημαίνει ότι μεταδίδουν μόνο όταν έχουν πακέτο να μεταδώσουν. Οι τελικές συσκευές του δικτύου μπορούν να εξυπηρετούν διάφορες λειτουργίες, γεγονός που τις διαχωρίζει σε τρεις βασικές κατηγορίες, οι οποίες αναλύονται στην επόμενη ενότητα[46].

3.2 Τεχνολογία κωδικοποίησης LoRa



Εικόνα 22: Αρχιτεκτονική κωδικοποίησης LoRa [46]

Το φυσικό επίπεδο του LoRaWAN δικτύου χρησιμοποιεί διαμόρφωση LoRa. Η διαμόρφωση αυτή ορίστηκε από τη Semtech, ενώ τα χαρακτηριστικά του LoRaWAN από τη LoRa Alliance. Το δίκτυο LoRaWAN ορίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας MAC, στο οποίο ανήκουν τρεις κλάσεις, η ανάλυση των οποίων ακολουθεί παρακάτω. Το δίκτυο LoRaWAN χρησιμοποιεί ISM(Industrial, Scientificand Medical) συχνότητα λειτουργίας, για την οποία δεν χρειάζεται άδεια χρησιμοποίησης.

Κλάσεις

Οι τελικές συσκευές του κάθε δικτύου LoRaWAN, όπως προαναφέρθηκε, επιτελούν και εξυπηρετούν διαφορετικές λειτουργίες, γεγονός που οδηγεί και σε διαφορετικές απαιτήσεις[47]. Για το λόγο αυτό, οι τελικές συσκευές διαχωρίζονται σε τρεις κλάσεις, A,B και C. Η βασική κλάση είναι η A, στην οποία πρέπει να ανήκουν όλες οι τελικές συσκευές, ενώ οι κλάσεις B και C αποτελούν προαιρετικά χαρακτηριστικά. Αυτό σημαίνει ότι κάθε συσκευή είναι απαραίτητο να υποστηρίζει τα χαρακτηριστικά της κλάσης A, και εφόσον είναι απαραίτητο να εμπεριέχει χαρακτηριστικά της κλάσης B ή/και C[47].

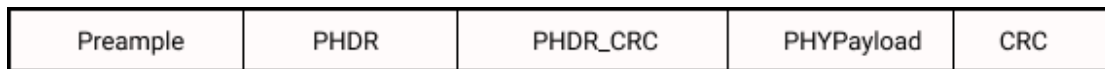
3.2.1 Κλάση A – Αμφίδρομες τελικές συσκευές

Οι τελικές συσκευές της κλάσης A, επιτρέπουν αμφίδρομη επικοινωνία, για να αποστείλουν μηνύματα στη ζεύξη ανόδου. Κάθε αποστολή ενός μηνύματος ακολουθείται από δύο μηνύματα μικρής διάρκειας στη ζεύξη καθόδου. Τα μηνύματα αυτά αποτελούν παράθυρα λήψης δεδομένων και μεταφέρονται στον server μέσω ενός ή πολλαπλών gateway. Η τελική συσκευή είναι υπεύθυνη για το χρονοπρογραμματισμό των παραθύρων αυτών, καθώς και για τη θυρίδα μετάδοσης(communication slot). Η θυρίδα αυτή αποτελείται βασίζεται στις ανάγκες της τελικής συσκευής, όμως μπορεί να υπάρξουν μικρές χρονικές διαφοροποιήσεις, σύμφωνα με το ALOHA πρωτόκολλο, πάνω στο οποίο είναι και βασισμένο[47]. Η λειτουργία αυτή των δυο θυρίδων μετάδοσης χρησιμοποιείται κυρίως από εφαρμογές που αμέσως μετά τη μετάδοση των δεδομένων τους, απαιτούν λήψη δεδομένων από τον server. Κάθε μήνυμα στη ζεύξη καθόδου από τον server χρονίζεται μετά από μήνυμα της τελικής συσκευής στη ζεύξη ανόδου, το οποίο σημαίνει ότι εάν ο server αποστείλει μήνυμα οποιαδήποτε άλλη χρονική στιγμή, θα πρέπει να περιμένει την αποστολή μηνύματος στη ζεύξη ανόδου[47].

Μηνύματα ζεύξης ανόδου.(Uplink messages)

Φυσικό επίπεδο

Τα μηνύματα uplink στέλνονται από τις τελικές συσκευές. Μεταδίδονται στον server από ένα ή πολλαπλά gateways.



Εικόνα 23: Δομή Μηνύματος στη Ζεύξη Ανόδου Κλάσης A [48]

Ένα πακέτο LoRa ξεκινά με πλαίσιο πρόλογου (preamble). Το πλαίσιο αυτό δεν είναι μόνο υπεύθυνο για το συγχρονισμό του πακέτου, αλλά και για τον ορισμό της διαμόρφωσης του. Τυπικά η διάρκειά του ανέρχεται στα 12,12Ts.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα πλαίσια της επικεφαλίδας (PHDRheader) και headerCRC(PHDR_CRC). Το μέγεθος και των δύο μαζί ανέρχεται στα 20bits, και είναι κωδικοποιημένα, υποδεικνύοντας ταυτόχρονα την κωδικοποίηση του υπόλοιπου πακέτου. Το πλαίσιο PHDRheader περιέχει πληροφορίες για το μέγεθος του ωφέλιμου φορτίου (payload) ενώ το PHDR_CRC εξασφαλίζει την ακεραιότητα του πακέτου.

Τέλος, το πλαίσιο CRC υποδηλώνει τη λήξη του πακέτου, και εάν εμπεριέχεται ή όχι στο συνολικό πακέτο, υποδηλώνεται από το PHDRheader.

Mac Επίπεδο

Τα πακέτα στο MAC επίπεδο περιέχουν MacHeader, MacPayload και MessageIntegrityCode(MIC). Τα δύο πρώτα περιέχουν αντίστοιχες πληροφορίες όπως και στο φυσικό επίπεδο, ενώ το MIC περιέχει μία τιμή. Η τιμή αυτή καθορίζει εάν το πακέτο έχει υποστεί επεξεργασία με σκοπό την πλαστογράφησης του, και χρησιμοποιείται για να το αναγνωρίσει ο τελικός κόμβος, είτε το gateway είτε ο server. Η αναγνώριση και η αυθεντικοποίηση αυτού του πλαισίου, και κατ επέκταση του PHY_payload γίνεται από τα δύο πρώτα πλαίσια[49] , [50].

Επίπεδο Εφαρμογής

ΤοMACPayload εμπεριέχει τα πλαίσια FrameHeader, FramePort και Frame Payload. Το FramePort εξαρτάται από τον τύπο της εφαρμογής για την οποία λειτουργεί το δίκτυο. Το payload αυτού του επιπέδου είναι κρυπτοποιημένο με κρυπτογράφηση AES 128 αλγόριθμου.

Η επικεφαλίδα του πλαισίου(FrameHeader) περιέχει τα εξής:

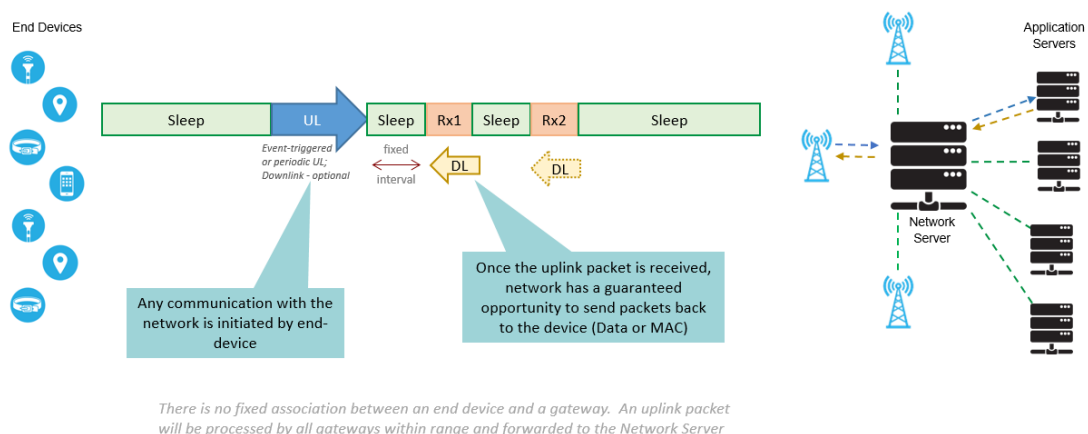
1. DeviceAddress: Διεύθυνση της συσκευής που αποστέλλει τα μηνύματα

2. FrameControl: Περιέχει πληροφορίες όπως ποιος θα είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων και σε ποιο κομμάτι του δικτύου θα υπάγεται (gateway ή uplink μετάδοση), εάν η μετάδοση έχει λήξει και εάν το ίδιο το μήνυμα αποτελεί επιβεβαίωση προηγούμενου μηνύματος.
3. FrameCounter: Αποτελεί δείκτη για την καταμέτρηση των συνολικών πακέτων που έχουν σταλεί.
4. FrameOptions: Αποτελούν οδηγίες για την μετατροπή παραμέτρων του συστήματος, για παράδειγμα την αλλαγή του ρυθμού μετάδοσης δεδομένων

Μηνύματα ζεύξης καθόδου.(Downlink messages) – Φυσικό επίπεδο



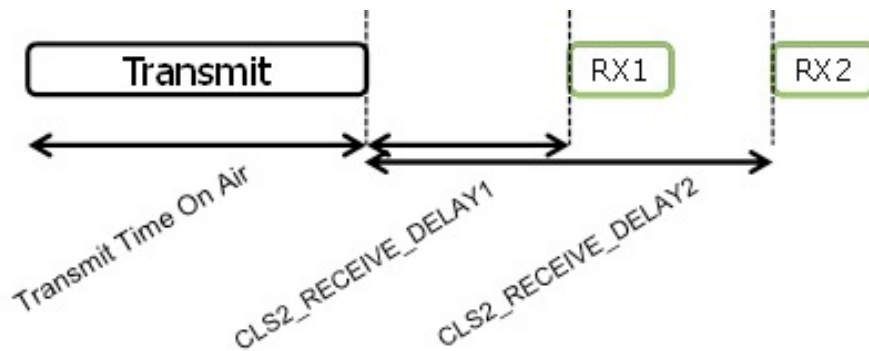
Εικόνα 24: Δομή Μηνύματος στη Ζεύξη Καθόδου Κλάσης A [48]



Εικόνα 25: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης A [49]

Τα μηνύματα στη ζεύξη καθόδου αποστέλλονται από τον server του δικτύου σε μία μόνο τελική συσκευή και μεταβιβάζονται από ένα μόνο gateway. Τα πλαίσια εντός του πακέτου λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως της ζεύξης ανόδου, με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει πλαίσιο CRC[50] , [51].

Παράθυρα Λήψης



Εικόνα 26: Παράθυρα Λήψης Τελικών Συσκευών [49]

Μετά την επιτυχή μετάδοση ενός πακέτου, η τελική συσκευή είναι απαραίτητο να ανοίξει δύο σύντομα παράθυρα λήψης. Ο χρόνος έναρξής τους καθορίζεται από το χρονικό τέλος της μετάδοσης του μηνύματος στη ζεύξη ανόδου[50] , [51].

Μετά την επιτυχή μετάδοση ενός πακέτου, η τελική συσκευή επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση αναμονής(sleep). Στο σημείο αυτό η τελική συσκευή αναμένει για μία απάντηση από την πλευρά του δικτύου(RX1). Ο συνήθης χρόνος αναμονής είναι 1sec. Εάν μέσα σε αυτό το παράθυρο λήψης δεν λάβει κάποιο μήνυμα, επιστρέφει σε κατάσταση sleep, και ανοίγει νέο παράθυρο λήψης RX2. Εάν και πάλι δεν λάβει κάποια απάντηση, παραμένει σε κατάσταση sleep έως την επόμενη στιγμή που θα έχει δεδομένα προς μετάδοση[50] , [51]. Επισημαίνεται ότι η τελική συσκευή δεν θα μεταδώσει νέο πακέτο δεδομένων εάν δεν ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή. Όμως εάν ένα νέο preamble ανιχνευθεί από την τελική συσκευή κατά τη αναμονή των παραθύρων λήψης, και συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια του πρώτου παραθύρου, τότε δεν αποστέλλεται δεύτερο παράθυρο λήψης. Ταυτόχρονα, ο server του δικτύου πρέπει να χρονοπρογραμματίσει την αποστολή νέου πακέτου προς την ίδια τελική συσκευή, ακριβώς κατά την λήξη ενός εκ των δύο παραθύρων λήψης[50] , [51].

3.2.2 Κλάση B- Αμφίδρομες τελικές συσκευές με προγραμματισμένες θυρίδες λήψης.

Για την υιοθέτηση ενός δικτύου της κλάσης B, πρέπει κάθε gateway να εμπεριέχει φάρο(beacon), για να υποδεικνύει τη εκάστοτε χρονική στιγμή σε όλες τις τελικές συσκευές. Οι τελικές συσκευές λαμβάνουν περιοδικά ένα από αυτά τα beacons, ώστε να μπορεί να συγχρονίζουν το εσωτερικό τους ρολόι με αυτό του Δικτύου. Εάν λάβει νέο beacon και η τελική συσκευή είναι ήδη χρονισμένη, τότε το αγνοεί. Εάν έχει λάβει beacon τότε η τελική συσκευή αποστέλλει BEACON_LOCKED, ενώ σε αντίθετη περίπτωση BEACON_NOT_FOUND.

Μηνύματα στη ζεύξη ανόδου

Τα μηνύματα στη ζεύξη ανόδου είναι αντίστοιχα με αυτά της κλάσης A, με μόνη διαφορά την προσθήκη του FCtrl πεδίου στο FrameHeader, το οποίο περιγράφεται στην παρακάτω εικόνα. Σημειώνεται ότι για να λειτουργήσουν σωστά οι τελικές συσκευές κλάσης B, στη ζεύξη ανόδου τα παράθυρα λήψης πρέπει να ανοίγουν σε συγκεκριμένες στιγμές, οι οποίες ορίζονται από τον χρονισμό του beacon. [50] , [51]

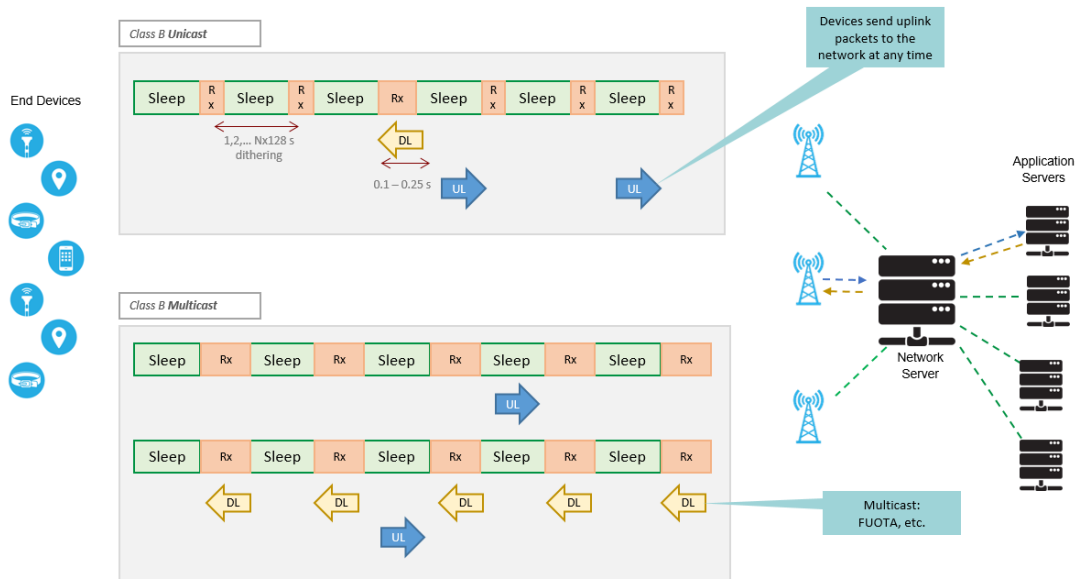
Bit#	7	6	5	4	3..0
FCtrl	ADR	ADRACKReq	ACK	Class B	FoptsLen

Εικόνα 27: Πεδίο FCtrl Κλάσης B [49]

Μηνύματα στη Ζεύξη Καθόδου

Στην κλάση B και στα μηνύματα στη ζεύξη καθόδου εμπεριέχεται η επιλογή του Pingframe. Οι τελικές συσκευές μπορούν να ανοίγουν πλέον περιοδικά παράθυρα λήψης(ringslots). Τα παράθυρα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από το δίκτυο για να στείλει πακέτο προς τις τελικές συσκευές, σε αντίθεση με την κλάση A, όπου μόνο η τελική συσκευή μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα με το δίκτυο. [50] , [51]

Τα μηνύματα μπορεί να είναι unicast ή multicast. Τα μηνύματα unicast στέλνονται προς μία μόνο τελική συσκευή ,ενώ τα multicast μηνύματα σε πολλαπλές τελικές συσκευές.



Εικόνα 28: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης B [49]

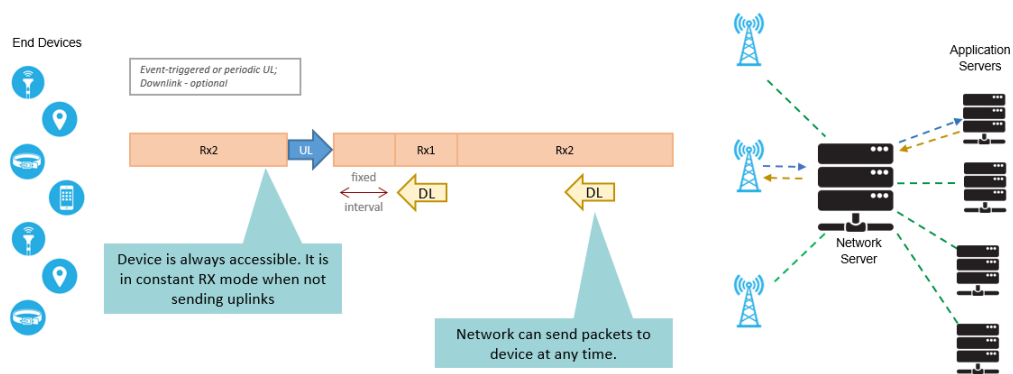
3.2.3 Κλάση C- Συνεχώς ενεργοποιημένες αμφίδρομες τελικές συσκευές.

Οι τελικές συσκευές της κλάσης αυτής συνεχώς αναμένουν να λάβουν μηνύματα καθόδου, εκτός από την περίπτωση που οι ίδιες μεταδίδουν.

Μηνύματα στην κλάση A(ζεύξη ανόδου και ζεύξη καθόδου)

Τα μηνύματα της ζεύξης αυτής λειτουργούν ακριβώς όπως στην κλάση A, με μόνη διαφορά ότι το δεύτερο παράθυρο λήψης, παραμένει ανοιχτό έως τη στιγμή που θα αποστείλει την επόμενη μετάδοση η τελική συσκευή, πίσω στον server[50] , [51]. Σύμφωνα με το παραπάνω, μπορεί να ληφθεί οποιαδήποτε στιγμή μήνυμα καθόδου από τον server, και όχι μόνο κατά τα δύο παράθυρα λήψης, όπως στην κλάση A. Επιπλέον, μεταξύ των παραθύρων RX2 και RX1 της επόμενης μετάδοσης, ανοίγει και ένα πολύ σύντομο παράθυρο ακοής(lisening) RX2 ρυθμού δεδομένων και συχνότητας λειτουργίας[50] , [51].

Όπως και στην κλάση B, η κλάση C υποστηρίζει unicast και multicast μηνύματα, με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά και περιορισμούς της κλάσης B.



Εικόνα 29: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης A [49]

3.3 Πλεονεκτήματα τεχνολογίας LoRa

Τα βασικά πλεονεκτήματα του πρωτοκόλλου LoRa είναι τα εξής[52],[53]:

1. Το πρωτόκολλο υποστηρίζει επικοινωνίες μεγάλης απόστασης. Για εξωτερικές εφαρμογές, η μέγιστη δυνατή απόσταση ανέρχεται σε περίπου 30 km, ενώ για εσωτερικές εφαρμογές, υποστηρίζεται απόσταση πολλών εκατοντάδων μέτρων. Οι αποστάσεις αυτές υποστηρίζονται λόγω και της τοπολογίας του δικτύου αστέρα.
2. Το κόστος για την ανάπτυξη ενός δικτύου LoRaWANείναι πολύ χαμηλό σε σχέση με αντίστοιχα δίκτυα, καθώς δεν χρειάζονται ενδιάμεσοι σταθμοί για την επικοινωνία των τελικών συσκευών με τα gateway.
3. Η κατανάλωση ενέργειας του συστήματος είναι εξαιρετικά χαμηλή, καθώς οι τελικές συσκευές είναι ενεργές μόνο κατά τη μετάδοση των δεδομένων τους, ενώ σε διαφορετική περίπτωση βρίσκονται σε λειτουργία αδράνειας(sleep). Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μεγάλης χωρητικότητας μπαταρία που φέρουν οι τελικές συσκευές, προσδίδει στο δίκτυο LoRaWANμεγάλη διάρκεια ζωής.
4. Ένα δίκτυο LoRaWANέχει μεγάλη προσαρμοστικότητα, καθώς η προσθήκη ή η αφαίρεση μίας τελικής συσκευής ή ενός gateway αποτελεί γρήγορη διαδικασία. Το γεγονός αυτό καθιστά το δίκτυο εύκολα μεταφέρσιμο.

5. Καθώς το πρωτόκολλο υποστηρίζει κρυπτογράφηση αλγορίθμου AES 128, παρέχει μεγάλη ασφάλεια στο δίκτυο.
6. Υποστηρίζει αμφίδρομες επικοινωνίες
7. Λειτουργεί σε δίκτυο ISM, το οποίο δεν απαιτεί άδεια, άρα δεν χρειάζεται επιπλέον απαιτήσεις λειτουργίας ή χρήματα.
8. Ένα δίκτυο LoRaWAN παρέχει αυξημένο υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων σε σχέση με άλλες τεχνολογίες, αλλά και με χαμηλή πολυπλοκότητα

3.4 Εφαρμογές

Μερικές ενδεικτικές εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο LoRa είναι οι εξής[54] , [55]:

1. Διαχείριση και παρακολούθηση της μόλυνσης του αέρα
2. Έξυπνη Γεωργία/ Γεωργία Ακριβείας
3. Παρακολούθηση περιβάλλοντος καλλιέργειας
4. Έξυπνος φωτισμός
5. Έξυπνο Πάρκινγκ
6. Παρακολούθηση βιομάζας
7. Συστήματα πυρασφάλειας
8. Εφαρμογές στο εσωτερικό σπιτιού
9. Διαχείριση Θερμοκρασίας εντός του σπιτιού

Κεφάλαιο 4: Εγκαθίδρυση Ασύρματου Δικτύου LoRa

4.1 Στόχος Μελέτης

Στόχος της μελέτης είναι η ανάπτυξη συστήματος παρακολούθησης της καλλιέργειας του φυτού κρόκου στο ομώνυμο χωριό Κρόκος Κοζάνης και των αγροτικών περιοχών στις οποίες καλλιεργείται το συγκεκριμένο φυτό. Σκοπός της παρακολούθησης είναι η συλλογή και αξιολόγηση δεδομένων εντός της καλλιέργειας, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν τα κατάλληλα εργαλεία για την βέλτιστη φροντίδα του φυτού και της καλλιέργειας, με απώτερο σκοπό την βελτιστοποίηση της παραγωγής και της ποιότητας. Η παρακολούθηση αυτή γίνεται σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση απομακρυσμένων τεχνολογιών, οι οποίες θα παρουσιαστούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Φυσικά Χαρακτηριστικά	
Διαστάσεις	
Βάρος	<230 γραμμάρια

Πίνακας 2: Φυσικά Χαρακτηριστικά Lorix One[56]

4.2 Εξοπλισμός

4.2.1 LoRiXOneGateway

Το gateway που χρησιμοποιήθηκε είναι το LoRiXOne Gateway από την εταιρεία Wifx.



Εικόνα 30: LorixOne [57]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του. [56]

Σύστημα

Το κύριο σύστημα του gateway είναι ARM Cortex-A5 στα 600MHz και περιέχει μνήμη Ram 128 MByte Στα 200MHz , ενώ το λειτουργικό του σύστημα είναι το Linux Yocto 4.4 , το οποίο είναι επεξεργάσιμο και παρέχει τη δυνατότητα εργοστασιακής επαναφοράς. Το σύστημα περιέχει από τον κατασκευαστή τις εξής υπηρεσίες Νέφους(Cloudservers):

1. LORIIOT cloud client,
- 2.TTN cloud client,
3. Semtech προωθητή πακέτων και
4. SSH server.

Σύστημα	
Επεξεργαστής	ARM® Cortex™-A5 @ 600MHz
RAM	128 Mbytes DDR2 @ 200MHz
Εσωτερική Μνήμη	Up to 1.0d HW version: 256 MBytes NAND FLASH with 4bits hardware ECC (Micron MT29F2G08ABAEAH4)

	From 1.0d2 HW version: 512 MBytes NAND FLASH with 8bits hardware ECC (Micron MT29F4G08ABAEAH4)
Εξωτερική Μνήμη	MicroSD θύρα κάρτας μνήμης

Πίνακας 3: Σύστημα LorixOne

Συνδεσιμότητα

Για τη συνδεσιμότητα του gateway παρέχονται τέσσερις θύρες:

1. Ethernet

Υποστηρίζει ταχύτητα έως 100Mbps με παθητική PoE(power over Ethernet) 24VDC, έως και 100m. Για την εξωτερική χρήση συνιστάται προστατευμένο καλώδιο.

2. USBmicro-Bservice

Παρέχει σειριακή διεπαφή στο gateway, η οποία επιτρέπει τη διαχείριση και ρύθμιση του, αλλά και την αναβάθμισή του.

3. RF κεραία

Ακολουθεί τους κανονισμούς της κάθε περιοχής, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

4. MicroSD Κάρτα μνήμης

Η θύρα αυτή επιτρέπει τη επέκταση ή ακόμα και την αντικατάσταση της μνήμης flash.

Θύρες Σύνδεσης	
Ethernet	Τύπος: RJ45 Ταχύτητα: 10/100Mbps
USB micro-B service	
RF κεραία	Τύπος N
MicroSD SD Κάρτα μνήμης	

Πίνακας 4: Θύρες Σύνδεσης LorixOne[56]

RF κεραία LoRa

Ο πυρήνας του συστήματος LoRa RF είναι SX1301 και είναι εγκεκριμένος από τη Semtech.

Έκδοση EU868

1. Λειτουργεί στα 863 – 970 MHz
2. Περιέχει 8 κανάλια και 49 αποδιαμορφωτές
3. Η ευαισθησία Κεραίας ανέρχεται στα -140dBm
4. Η δύναμη του σήματος που παράγεται κατά την μετάδοση ανέρχεται στα 27dBm

Έκδοση US915

1. Λειτουργεί στα 902 - 928MHz
2. Περιέχει 8 κανάλια και 49 αποδιαμορφωτές
3. Η ευαισθησία Κεραίας ανέρχεται στα -135dBm
4. Η δύναμη του σήματος που παράγεται κατά την μετάδοση ανέρχεται στα 27dBm

Έκδοση AU915

1. Λειτουργεί στα 915 – 928MHz
2. Περιέχει 8 κανάλια και 49 αποδιαμορφωτές
3. Η ευαισθησία Κεραίας ανέρχεται στα -135dBm
4. Η δύναμη του σήματος που παράγεται κατά την μετάδοση ανέρχεται στα 27dBm [40]

RF (VERSION EU868)	
Ευρώπη	
Διαμόρφωση LoRa	863-873 MHz
Διαμόρφωση FSK	863-873 MHz
Αμερική	
Διαμόρφωση LoRa	902-928 MHz
Διαμόρφωση FSK	Μη διαθέσιμο

Αυστραλία	
Διαμόρφωση LoRa	863-873 MHz
Διαμόρφωση FSK	Μη διαθέσιμο

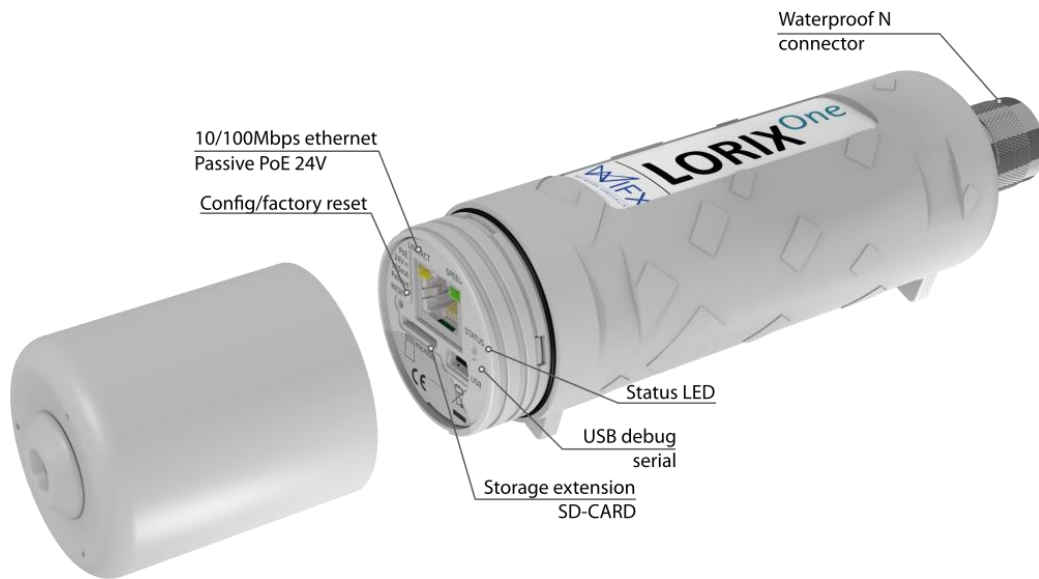
Πίνακας 5: Κεραία Σύνδεσης LorixOne[56]

Λειτουργία

1. Η παροχή ρεύματος γίνεται μέσω παθητικού Power over Ethernet(PoE).
2. Λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -30°C έως +55°C ενώ αποθηκεύεται σε θερμοκρασίες από -20°C έως +70°C.
3. Για εσωτερική χρήση λειτουργεί με inclinable κεραία 2dBi 200 χιλιοστών ενώ για εξωτερική χρήση με κεραία IP65 4.15dBi 500 χιλιοστών.

Χαρακτηριστικά Ενέργειας	
Είσοδος	Voltage: 24VDC Courant: 500mA
Έξοδος	Voltage: 24VDC Courant: 500mA
Κατανάλωση (αποσυνδεδεμένη RF)	Voltage: 24VDC Courant: 42mA Power: 101W

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Ενέργειας LorixOne[56]



Εικόνα 31: Εσωτερικό LorixOne[56]

4.2.2 Libellium Waspnote

Η πλακέτα Waspnote Plug and sense δημιουργήθηκε από τη Libellium και αποτελεί εργαλείο για την ανάπτυξη Internet of Things εφαρμογών. Επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών χαμηλής κατανάλωσης, οι οποίες επιτρέπουν στους κόμβους της πλακέτας(αισθητήρες) την αυτόνομη λειτουργία τους. Η πλακέτα περιέχει εξωτερικές θύρες σύνδεσης των αισθητήρων, ηλιακό πάνελ για την επαναφόρτιση της μπαταρίας του, κεραία καθώς και USB καλώδιο για τον επαναπρογραμματισμό της πλακέτας[58].

Χαρακτηριστικά

1. Το βάρος της πλακέτα ανέρχεται κατά προσέγγιση στα 800 γραμμάρια και λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -30°C έως +70°C [58].
2. Αποτελείται από πολυανθρακικό υλικό, όπως και το προστατευτικό υλικό του.
3. Εμπεριέχει ηλιακή πλακέτα για την επαναφόρτιση της μπαταρίας του, ώστε να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής της πλακέτας.
4. Πρωτόκολλα που υποστηρίζονται:
 - a. 802.154
 - b. 868MHz
 - c. WiFi
 - d. 4G
 - e. SigFox

f. LoRaWAN

5. Παρέχεται η Δυνατότητα για Over The Air Programming(OTAA), το οποίο σημαίνει ταυτόχρονη πολλαπλή αποστολή πακέτων, γεγονός που συμβάλει στην ταχύτητα και αποτελεσματικότητα της εφαρμογής.

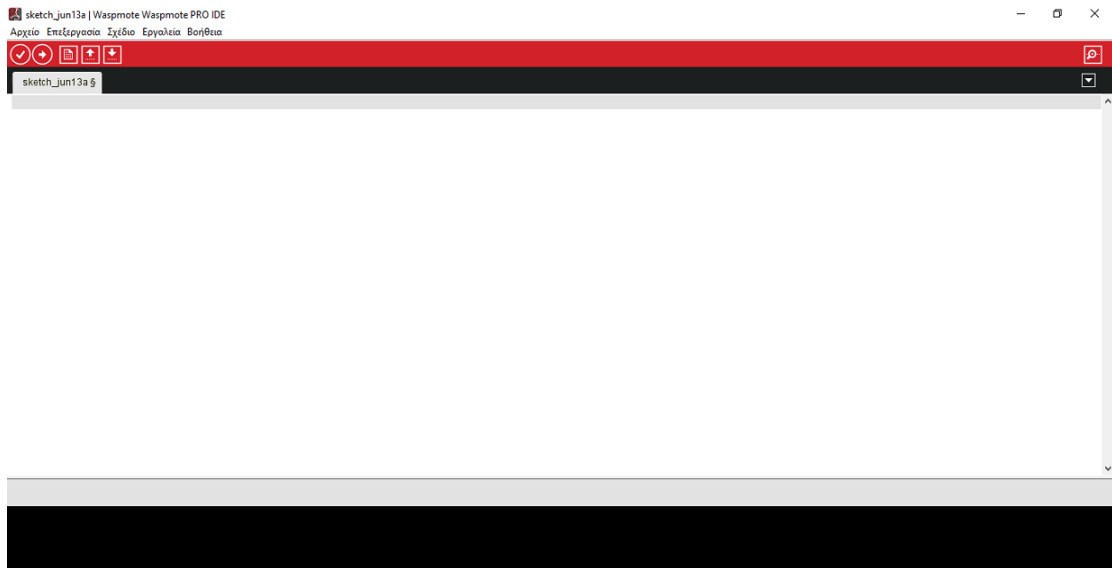
Μαζί με την πλακέτα της Waspote για την ανάπτυξη εφαρμογών Internet of Things, παρέχεται και η αντίστοιχη διεπαφή της, ώστε να μπορεί ο χρήστης να διαχειριστεί την εφαρμογή του και τους αισθητήρες[58].

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η πλακέτα της Waspote



Εικόνα 32: Πλακέτα Waspote [59]

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η διεπαφή της Waspote



Εικόνα 33: Λογισμικό Waspote IDE

4.2.3 Αισθητήρες

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα Smart Agriculture PRO, η οποία απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 34: Πλακέτα Agriculture Pro[60]

Η συγκεκριμένη πλακέτα παρέχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι εξής αισθητήρες:

1. Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους
2. Αισθητήρας Υγρασίας Φύλλων
3. Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εδάφους

Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους (Watermark)

Ο αισθητήρας Υγρασίας εδάφους Watermark αναπτύχθηκε από την Irrometer. Αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια, τα οποία είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στη διάβρωση.

Τα ηλεκτρόδια αυτά είναι ενσωματωμένα σε μία κοκκώδη μήτρα(*granularmatrix*), η οποία βρίσκεται κάτω από ένα γύψινο *wafer*. Η τιμή που λαμβάνει ο αισθητήρας μετριέται σε Herz, με αποτέλεσμα να χρειάζεται μετατροπή ώστε να εκφραστεί σε μονάδα μέτρησης αντίστασης, δηλαδή σε Ohms. Η αντίσταση αυτή είναι ανάλογη της έντασης του νερού, η οποία αποτελεί παράμετρο εξαρτώμενη από την υγρασία του εδάφους, και αντικατοπτρίζει την ένταση που χρειάζεται για την εξαγωγή του του νερού από το έδαφος. [42]

Η εξίσωση που περιγράφει αυτή την μετατροπή περιγράφεται ως εξής:

$$F = \frac{RS + 150390}{0,021 * RS + 8.19} ,$$

με

$$R_s = 137.5 * TA + 550 , [60]$$

Όπου F είναι η μέτρηση του αισθητήρα(συχνότητα Hz), όπου R_sείναι η αντίσταση σε Ohms και TA η ένταση της υγρασίας εδάφους εκφραζόμενη σε centibars.



Εικόνα 35: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους (Watermark) [60]

Χαρακτηριστικά Watermark

Εύρος μέτρησης	0-200cb
Εύρος συχνότητας Λειτουργίας	50 – 10000Hz
Διάμετρος	22mm
Μήκος	76mm

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Watermark[60]

Αισθητήρας Υγρασίας Φύλλων (LWS)

Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας φύλλων συμπεριφέρεται ως αντίσταση απείρου μεγέθους. Αποτελείται από μη συμπτυκνωμένες αγώγιμες κηρύθρες(εσοχές). Η τιμή που λαμβάνει ο αισθητήρας εκφράζεται σε Volt, και εκφράζει το ποσοστό της υγρασίας που συμπτυκνώνεται επάνω στον αισθητήρα. [42]



Εικόνα 36: Αισθητήρας Υγρασίας Φύλλων (LWS)[60]

Χαρακτηριστικά LWS

Εύρος αντίστασης	5kΩ ~> 2MΩ
Εύρος συχνότητας Λειτουργίας	1 V – 3.3 V
Διάμετρος	3.95 cm
Μήκος	1.95 cm

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά LWS [60]

Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εδάφους(PT-1000)

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους εκφράζεται ως αντίσταση, η οποία έχει εύρος τιμών $920\Omega - 1200\Omega$ κατά προσέγγιση, εντός του εύρους θερμοκρασιών που θεωρείται χρήσιμο στην γεωργία ακριβείας ($-20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$). Η αντίσταση αυτή έχει ως αποτέλεσμα σε σημαντικές αλλαγές στην θερμοκρασία να υπάρχουν μικρές μεταβολές ρεύματος. [42]

Η επιστρεφόμενη τιμή του αισθητήρα μετριέται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$)



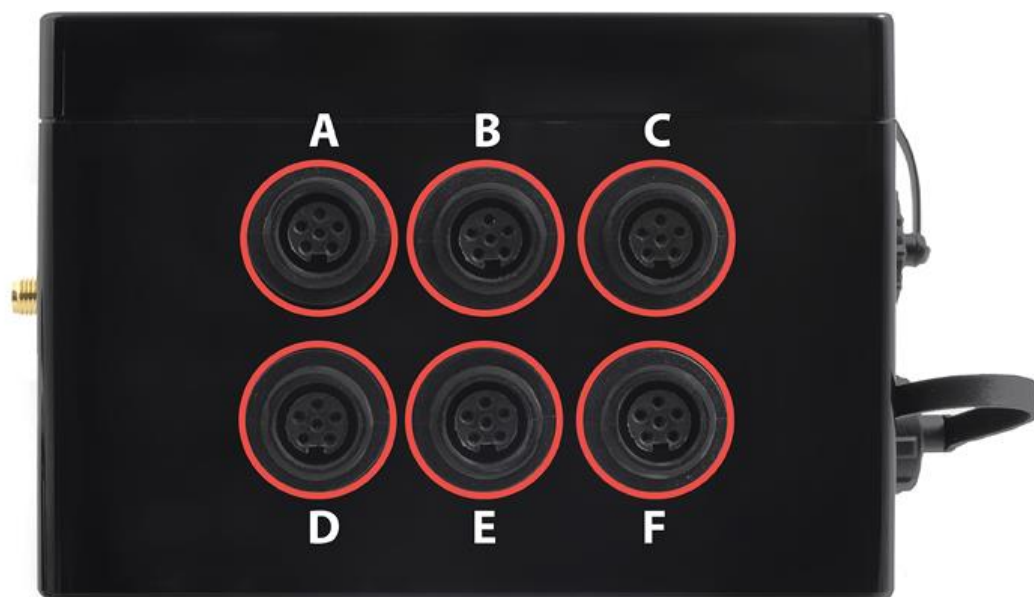
Εικόνα 37: Αισθητήρας Θερμοκρασίας Εδάφους[60]

Χαρακτηριστικά LWS

Εύρος Μέτρησης	-50 – 300 °C
Αντίσταση (0) $^{\circ}\text{C}$	1000 Ω
Διάμετρος	6 mm
Μήκος	40mm
Καλώδιο	2m
Υλικό Κατασκευής	Πλατίνα(Pt)

Πίνακας 9 : Χαρακτηριστικά PT-1000 [60]

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι θύρες σύνδεσης των αισθητήρων



Εικόνα 38: Θύρες Σύνδεσης Πλακέτας Waspmote [60]

Θύρες Σύνδεσης

Υγρασία Φύλλων	E
Υγρασία Εδάφους	C
Θερμοκρασία εδάφους	D

Πίνακας 10: Θύρες Σύνδεσης Waspmote

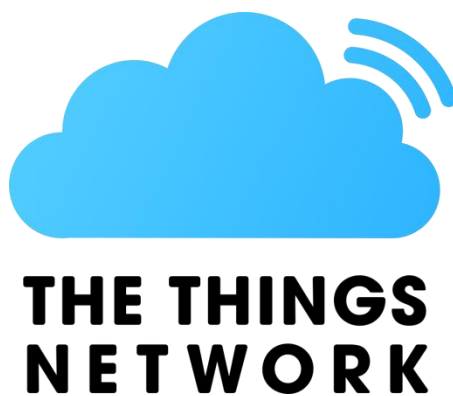
4.2.4 TheThingsNetwork

ΤοTheThingNetwork (TTN)ιδρύθηκετο 2015 απότους Wienke Giezeman και Johan Stokking, και είναι μέλος της LoRaAlliance. Η πλατφόρμα δημιουργήθηκε για να παρέχει λύσεις LoRaWAN ανοιχτού λογισμικού, καθώς και να παρέχει ελεύθερα εργαλεία προγραμματισμούLoRaWAN. Συνεπώς, με την πάροδο του χρόνου και τον συνεχώς αυξανόμενο αριθμό χρηστών της πλατφόρμας, δημιουργήθηκε μια ανοιχτή παγκόσμια πλατφόρμα εφαρμογών, η οποία παρέχει παγκόσμια κάλυψη LoRaWAN. Στην πλατφόρμα αυτή μπορούν πολλοί συνεργάτες, να συμμετέχουν στην ίδια

εφαρμογή, καθώς και να συνεισφέρουν στο παγκόσμιο δίκτυο LoRaWAN, προσθέτοντας gateways. Με τον τρόπο αυτό, αναπτύχθηκε το παγκόσμιο δίκτυο LoraWAN, το οποίο καλύπτει μεγάλο αριθμό χωρών.

Μέσω της εγγραφής στην πλατφόρμα TTN, ο χρήστης μπορεί να εισάγει το gateway που χρησιμοποιεί, δημιουργώντας έτσι μία άμεση εφαρμογή για τη λήψη των δεδομένων της εφαρμογής του, τα οποία μεταδίδονται μέσω των πυλών(gateways)LoRaWAN.Οι πύλες αυτές λειτουργεί σε ζώνες ραδιοσυχνοτήτων και μεταδίδουν ραδιοσήματα μεγάλης εμβέλειας, τα οποία απεικονίζουν τα δεδομένα που λαμβάνονται από αισθητήρες. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια προωθούνται σε καθορισμένους παραλήπτες, δηλαδή στους χρήστες της εφαρμογής. Στην πορεία, οι χρήστες μπορούν να επεξεργαστούν τα δεδομένα τους, ή ακόμα και να τα επαναπροωθήσουν στον προορισμό που επιθυμούν, μέσω κατάλληλης λειτουργίας που παρέχεται από το TTN.

Το δίκτυο TTN παρέχει ασφαλείς λύσεις ανάπτυξης IOT εφαρμογών, καθώς περιλαμβάνει κωδικοποίηση AES-128 end-to-end , στοιχείο απαραίτητο αν λάβουμε υπόψη ότι μεταδίδουν δεδομένα μέσω ραδιοσυχνοτήτων.



Εικόνα 39: The Things Network [61]

4.2.5 NodeRed

Το NodeRed, το οποίο αναπτύχθηκε από την IBM Emerging Technology, είναι μία διαδικτυακή πλατφόρμα open source, στην οποία επιτρέπεται η δημιουργία διαγραμμάτων ροής, τα οποία αναπαριστούν συναρτήσεις JavaScript. Πολύ συχνά

χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση αισθητήρων, αλλά και για την σύνδεση αισθητήρων με οντότητες εντός δικτύου InternetOfThings.

Μέσα από το NodeRed, μία εφαρμογή IoT μπορεί να επεξεργάζεται και να προωθεί δεδομένα στην κατάλληλη οντότητα-εφαρμογή, ή ακόμα και να εμφανίζει τα συλλεγόμενα δεδομένα. Επιπλέον, από μία από τις πιο διαδεδομένες χρήσεις του, είναι και η εξαγωγή δεδομένων από το TheThingsNetwork.

Για την εξαγωγή των δεδομένων το NodeRed χρειάζεται πρόσβαση στην εφαρμογή TTN. Μόλις πάρει την έγκριση, έχει πλέον τη δυνατότητα να διαχειριστεί τα δεδομένα με ποικίλους τρόπους, με ποιο διαδεδομένο την εγγραφή των συλλεγμένων δεδομένων σε μία εξωτερική βάση δεδομένων.

Το NodeRed όχι μόνο υποστηρίζει ποικίλες εφαρμογές cloud (Cisco , IBMCloud, AT&TIoTplatform, Nokia), αλλά έχει και πολλές προεγκατεστημένες συσκευές(RaspberryPi, OPTO 22, SiemensSIMATICIOT 2040)

4.2.6 SQLDatabase

Μια SQLΒάση δεδομένων είναι μία συλλογή από πίνακες, στην οποία αποθηκεύονται συγκεκριμένοι δεδομένα, με καθορισμένο τύπο δεδομένων. Οι βάσεις δεδομένων δίνουν τη δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου όγκου δεδομένων, καθώς και την παρουσίασή τους ή και την επεξεργασία τους. Μία βάση δεδομένων αποτελείται από τα εξής κομμάτια:

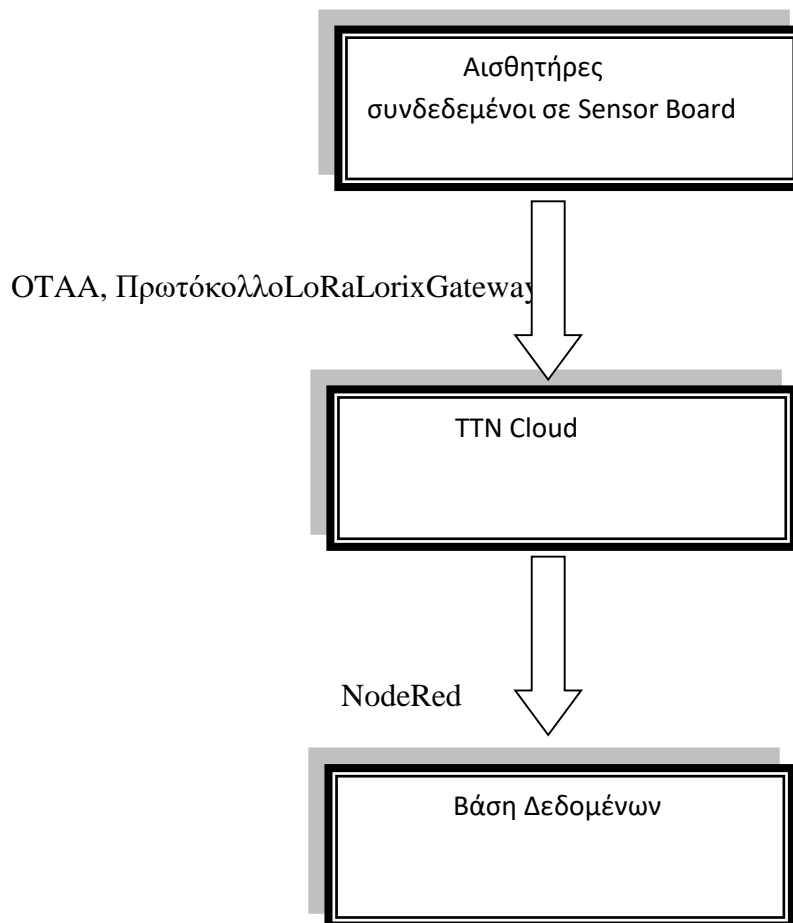
Μία πολύ διαδεδομένη βάση δεδομένων είναι η phpMyAdmin. Η phpMyAdmin αποτελεί ένα πολύ χρησιμοεργαλείο για τη διαχείριση SQLβάσεων δεδομένων, μέσω διαδικτύου. Παρέχει τη δυνατότητα είτε για απευθείας εκτέλεση SQLεντολών, είτε για εκτέλεση εντολών μέσα από την διεπαφή της βάσης δεδομένων.

Χρησιμοποιώντας την phpMyAdminSQL βάση δεδομένων, καθίσταται πλέον δυνατή η συλλογή και η επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία συλλογή πινάκων, οι οποίοι στη συνέχεια είναι προσπελάσιμοι για ανάγνωση και επεξεργασία. Επιπλέον, εφόσον χρειαστεί, παρέχεται και η δυνατότητα να αντληθούν συγκεκριμένες πληροφορίες από

τους πίνακες αυτούς, εφαρμόζοντας κατάλληλα ερωτήματα, σε μορφή SQL, στη βάση που έχει αναπτυχθεί.

4.3 Αρχιτεκτονική Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων LoRaWAN

Η πορεία των δεδομένων καθώς και η αρχιτεκτονική με την οποία στήθηκε το σύστημα περιγράφεται από το εξής σχήμα.



Αρχιτεκτονική Ασυρμάτου Δικτύου Αισθητήρων

Επεξήγηση σχήματος

Το Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων προς υλοποίηση αποτελείται από τις οντότητες που προαναφέρθηκαν, δηλαδή

1. Lorix One Gateway
2. Wasmote Sensor Board και αισθητήρες
3. TTN cloud
4. NodeRed
5. phpMyAdmin SQL βάση δεδομένων

4.4 Αναλυτική Πορεία Δεδομένων

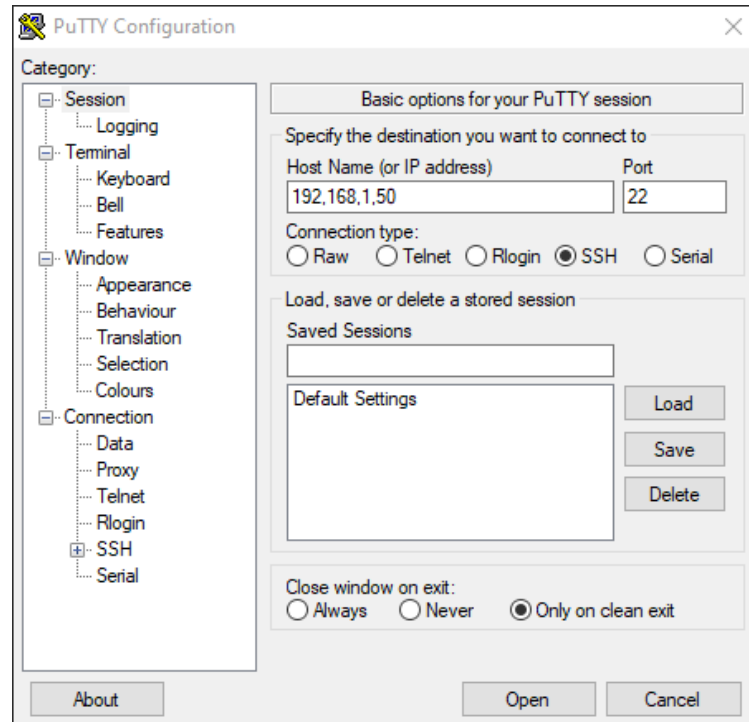
1. Τα δεδομένα ξεκινούν την πορεία τους από τους αισθητήρες της πλακέτας Wasmote.
2. Μέσω των τριών αισθητήρων(υγρασίας φύλλων, υγρασίας εδάφους και θερμοκρασίας εδάφους) συλλέγονται τα δεδομένα για την εφαρμογή.
3. Η πλακέτα Wasmote, έχοντας συνδεθεί με το LorixOneGateway, περνάει τα δεδομένα στο TTNcloud, μέσα από το οποίο πραγματοποιήθηκε και η σύνδεση των δυο προαναφερθέντων οντοτήτων, μέσω OverTheAirProgramming και πρωτόκολλο LoRa.
4. Μόλις γίνει η είσοδος των δεδομένων στο TTNCLOUD, παρέχεται η δυνατότητα στην οντότητα NodeRed να αντλήσει τα δεδομένα στην δική της πλατφόρμα.
5. Με την ανάγνωση των δεδομένων από το NodeRed, καθίσταται πλέον δυνατή η σύνδεση του TTNcloud, με τη βάση δεδομένων phpMyAdmin, στην οποία και περνάνε τα δεδομένα.

Με την παραπάνω διαδικασία γίνεται εφικτή η εγκαθίδρυση ενός Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων μέσω πρωτοκόλλου LoRa.

4.4.1 Σύνδεση Lorix (σύμφωνα με Lorix One User Manual):

1. Αρχικά χρειάζεται να γίνει έλεγχος για την περίπτωση που υπάρχει ενεργή σύνδεση DHCP στον υπολογιστή, και να γίνει σύνδεση στο ίδιο δίκτυο με τον gateway, ώστε να είναι εφικτός ο προγραμματισμός του gateway σύμφωνα με τις ανάγκες του Δικτύου.

2. Στη συνέχεια, γίνεται η σύνδεση του gateway με τον υπολογιστή, είτε μέσω του καλωδίου USB που παρέχεται από την LorixOne (USBmicro-Bservice), είτε μέσω SSH server. Σε αυτό το στάδιο θα επιλεγεί ο προγραμματισμός μέσω SSH.



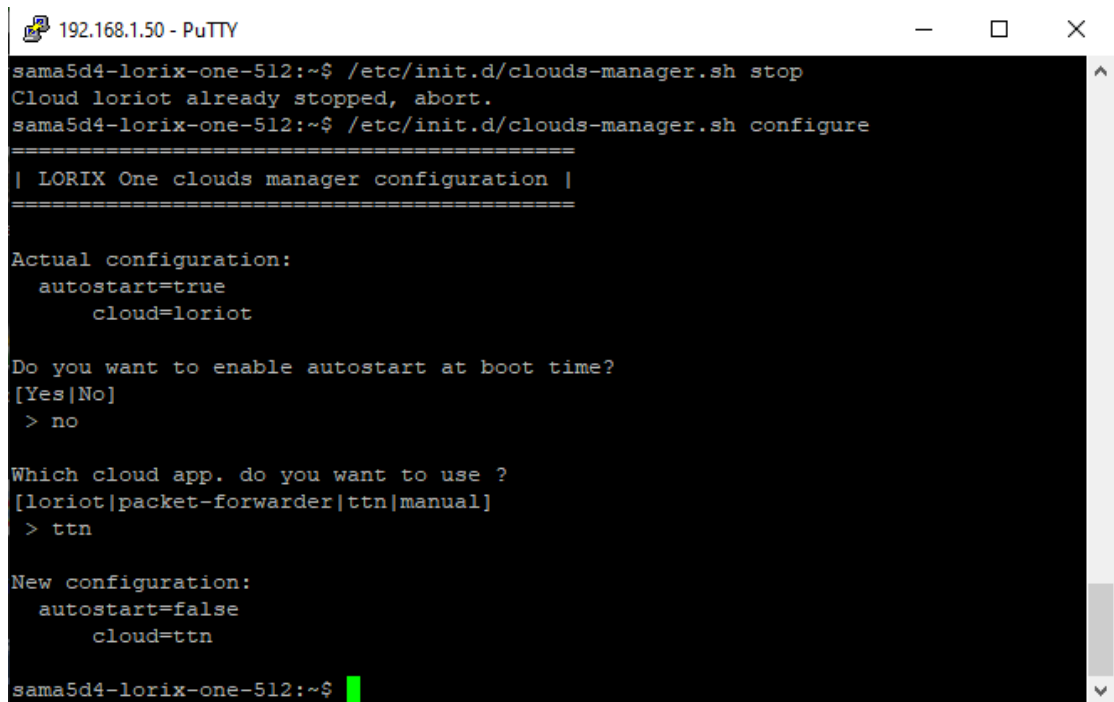
Εικόνα 4.11: Σύνδεση σε LorixOne μέσω SSH

3. Έπειτα, μέσω του προγράμματος putty, γίνεται δυνατή σύνδεση στις ρυθμίσεις του gateway για την προσαρμογή των ρυθμίσεων του στις ανάγκες του Δικτύου. Η διαδικασία σύνδεσης είναι η εξής:
 - a. Ενεργοποίηση Gateway μέσω PoE Ethernet.
 - b. Διεύθυνση στην οποία γίνεται η σύνδεση είναι η εξής είναι η διεύθυνση που ορίστηκε στον DHCP server(IP), ενώ η θύρα σύνδεσης η 22.
4. Πλέον, το μόνο που χρειάζεται είναι τα credentials για την σύνδεση. Στο πεδίο Login αντιστοιχείτο όνομα admin, ενώ στο πεδίο password αντιστοιχείτο πεδίο lorix4u, σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του κατασκευαστή. (Συνιστάται η αλλαγή του password, για μεγαλύτερη ασφάλεια). Εφόσον έχει γίνει πλέον η σύνδεση στις ρυθμίσεις του gateway, είναι εφικτός ο προγραμματισμός του για τις ανάγκες του δικτύου.

```
192.168.1.50 - PuTTY
login as: admin
admin@192.168.1.50's password:
LORIXOne
-----
LoRa gateway      www.lorixone.io
Wiki               www.lorixone.io/wiki
Quick start       www.lorixone.io/wiki/quickstart
Troubleshooting   www.lorixone.io/wiki/troubleshooting
Changelog         www.lorixone.io/wiki/changelog
Versions          www.lorixone.io/wiki/versions
-----
sama5d4-lorix-one-512:~$
```

Εικόνα 40: Σύνδεση σε LorixOne μέσω τερματικού

5. Σε αυτό το στάδιο ακολουθεί η αλλαγή της σύνδεσης από SSH σε σύνδεση μέσω usb, για το προγραμματισμό της κεραίας.(COM3-Serial)
6. Το πρώτο κομμάτι αφορά στην ρύθμιση των στατικών παραμέτρων του δικτύου, δηλαδή διεύθυνση IP, μάσκα δικτύου, IP του Gateway καθώς και DNS διευθύνσεων. Η ρύθμιση αυτή γίνεται με την εντολή **sudo vi /etc/network/interfaces**



```
192.168.1.50 - PuTTY
sama5d4-lorix-one-512:~$ /etc/init.d/clouds-manager.sh stop
Cloud loriot already stopped, abort.
sama5d4-lorix-one-512:~$ /etc/init.d/clouds-manager.sh configure
=====
| LORIX One clouds manager configuration |
=====

Actual configuration:
  autostart=true
  cloud=loriot

Do you want to enable autostart at boot time?
[Yes|No]
> no

Which cloud app. do you want to use ?
[loriot|packet-forwarder|ttn>manual]
> ttn

New configuration:
  autostart=false
  cloud=ttn

sama5d4-lorix-one-512:~$
```

Εικόνα 42: Ρύθμιση Παραμέτρων The Thing Network

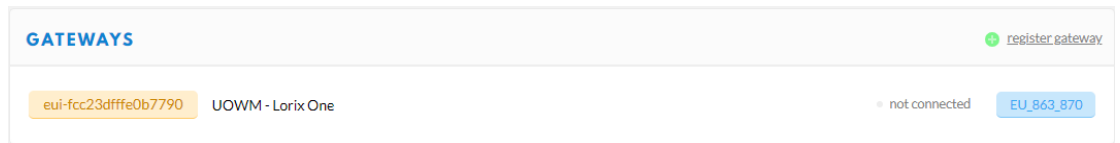
9. Στη συνέχεια χρειάζεται αποσύνδεση μέσω του usb και σύνδεση ξανά μέσω SSH, καθώς οι απαραίτητες ρυθμίσεις έχουν πραγματοποιηθεί.
10. Μόλις πραγματοποιηθεί η επανασύνδεση μέσω SSH, είναι απαραίτητη η εκκίνηση του packet forwarder που έχουμε επιλέξει, με την εντολή **cd /opt/lorix/clouds/loriot/**

4.4.2 TheThingsNetwork

Επόμενο βήμα για την εγκαθίδρυση του δικτύου είναι η δήλωση του υλικού του Δικτύου στην πλατφόρμα TheThingsNetwork. Είναι απαραίτητη η εγγραφή του υλικού σε μία νέα εφαρμογή TTN, ώστε να μπορέσει η ίδια η πλατφόρμα να συντονίσει το την εφαρμογή, που έχει ως σκοπό την συλλογή και την άντληση των δεδομένων από τους αισθητήρες.

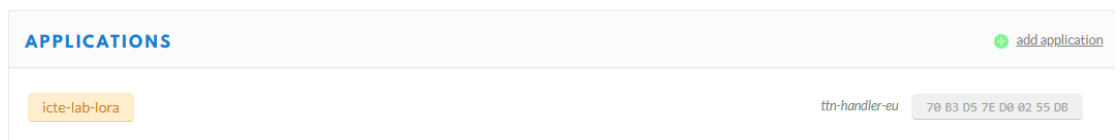
1. Το πρώτο βήμα, είναι η σύνδεση σε προσωπικό λογαριασμό στο TTN, ώστε να δημιουργηθεί η πλατφόρμα της εφαρμογής.
2. Έπειτα, πριν ακόμα δημιουργηθεί η εφαρμογή, πρέπει αν εγγραφεί το gateway στην πλατφόρμα TTN. Επιλέγοντας την καρτέλα Gateways, και

στη συνέχεια την επιλογή register gateway, είναι εφικτή η εγγραφή του. Συμπληρώνοντας τα βασικά στοιχεία του gateway, καθώς και την τρέχουσα τοποθεσία του, έχει ολοκληρωθεί η δήλωσή του στην πλατφόρμα TTN.



Εικόνα 43: Καρτέλα gateways

3. Στη συνέχεια, είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί μία νέα εφαρμογή εντός της πλατφόρμας TTN, ώστε να συντονιστεί το υλικό του δικτύου. Η δημιουργία αυτή γίνεται μέσω της καρτέλας Applications, και στη συνέχεια στην επιλογή προσθήκη εφαρμογής. Ομοίως, συμπληρώνοντας τα στοιχεία της εφαρμογής, με πιο σημαντικό το EUI αναγνωριστικό της εκάστοτε πλακέτας, στη συγκεκριμένη περίπτωση την πλακέτα Waspote.



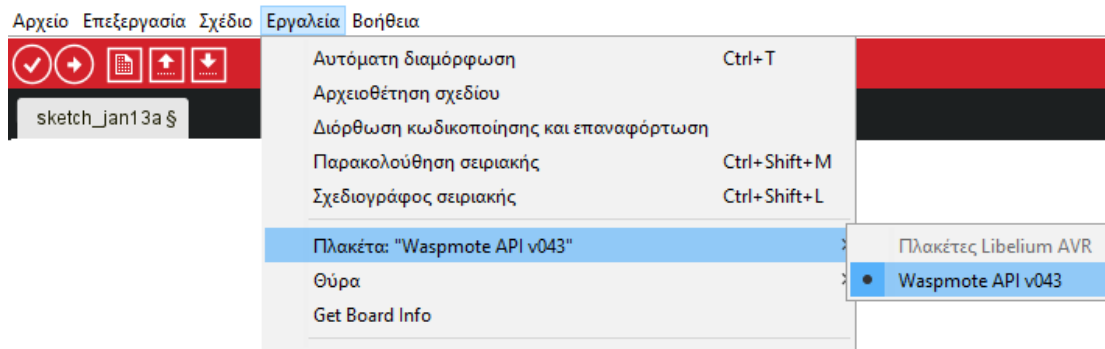
Εικόνα 44: Καρτέλα gateways

4. Εφόσον έχει καταγραφεί η εφαρμογή, από την καρτέλα applications, εμφανίζονται τα απαραίτητα στοιχεία που θα χρειαστούν για τα επόμενα βήματα στην εγκαθίδρυση του Δικτύου.

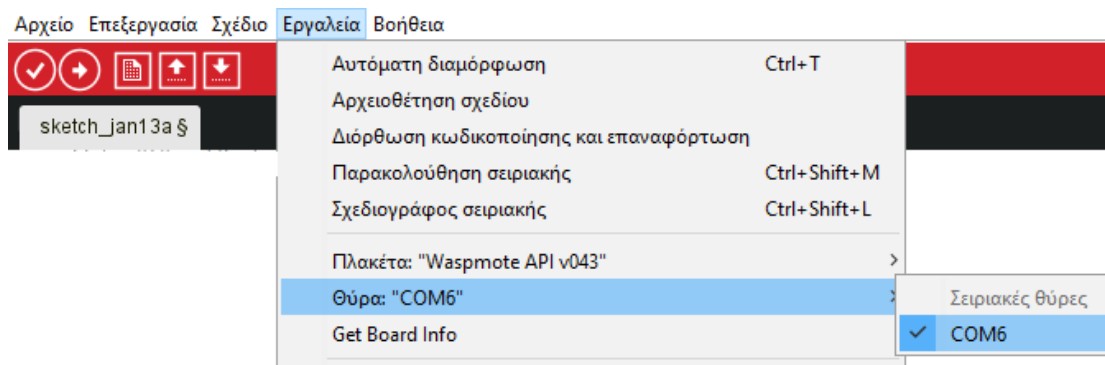
4.4.3 Waspote πλακέτα και αισθητήρες

Η ανάπτυξη του κώδικα για τον προγραμματισμό των αισθητήρων έγινε με το λογισμικό WaspotePROIDE.

Ανοίγοντας το λογισμικό το πρώτο κομμάτι είναι οριστεί η σύνδεση της πλακέτας Waspote με το τρέχον project. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της καρτέλας Εργαλεία/Πλακέτες, και επιλέγοντας την αντίστοιχη πλακέτα της εφαρμογής, η οποία συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USBκαλωδίου.



Εικόνα 45: Σύνδεση Wasp mote πλακέτας και Λογισμικού

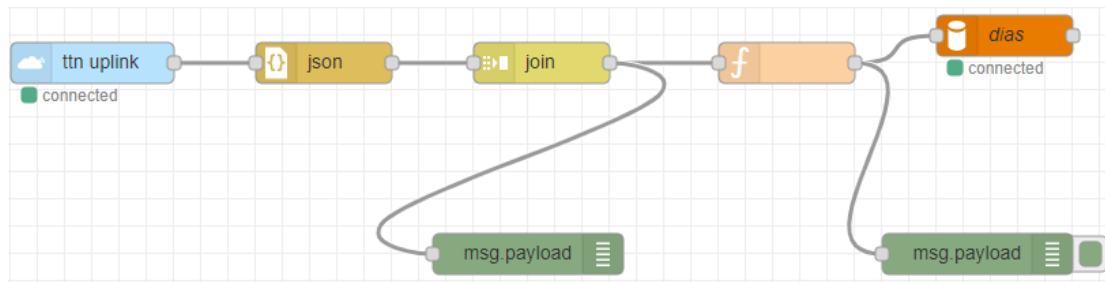


Εικόνα 46: Σύνδεση Wasp mote πλακέτας και Λογισμικού (θύρα)

Στη συνέχεια ακολουθεί η εισαγωγή του κώδικα, ο οποίος θα πρέπει να έχει δύο παραλλαγές. Η πρώτη θα εφαρμόζεται για τη ρύθμιση της πλακέτας Wasp mote και των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι, καθώς και για τον έλεγχο των δεδομένων και του προγράμματος μέσα από το πρόγραμμα της Wasp mote, ενώ η δεύτερη εφαρμόζεται για να ρυθμιστεί η πλακέτα για την ασύρματη λειτουργία της.

4.4.4 NodeRed

Το NodeRed είναι ένα Online λογισμικό που επιτρέπει την συλλογή και μεταφορά δεδομένων από μία οντότητα σε μία άλλη. Ο τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιήθηκε αναπαρίσταται στην ακόλουθη φωτογραφία.

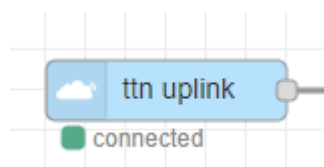


Εικόνα 47: Ροή δεδομένων σε NodeRed

TTN uplinkκόμβος

Ο κόμβος αυτός είναι χρησιμοποιείται για να λαμβάνει τα δεδομένα από συσκευές εντός της πλατφόρμας TTN. Τα στοιχεία που χρειάζονται για τη συλλογή των δεδομένων είναι το ID της συσκευής που συλλέγει δεδομένα, καθώς και το πεδίο που θα συλλεχθεί από το TTN μήνυμα. Η έξοδος του κόμβου αυτού είναι οι εξής παράμετροι:

1. Dev_ID: Το ID της συσκευής από την οποία προέρχονται τα δεδομένα.
2. Payload: Το μήνυμα που λαμβάνεται από τους αισθητήρες, και συγκεκριμένα το πεδίο που προσδιορίστηκε στην ρύθμιση του κόμβου.



Εικόνα 48: Κόμβος TTN

JSONκόμβος

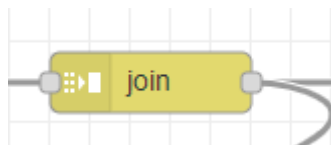
Ο κόμβος αυτός χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των δεδομένων από Jsonstring σε αντικείμενα Java. Τα δεδομένα που προέρχονται από το TTN ορίζονται σε μορφή JSONstring, οπότε κρίνεται απαραίτητη η μετατροπή τους για την πιο εύκολη επεξεργασία τους. Ως είσοδος ορίζεται το payload που προέρχεται από το TTN, ενώ η έξοδος του είναι το ίδιο payload στη νέα του μορφή, το οποίο εισάγεται στη μεταβλητή msg.payload.



*Εικόνα 49*Κόμβος *Json*

Joinκόμβος

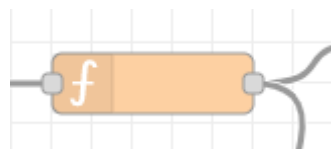
Ο κόμβος αυτός συνδέει ακολουθίες μηνυμάτων σε ένα μήνυμα. Η χρησιμότητά του ποικίλει ανάλογα με τους κόμβους με τους οποίους συνδέεται στη ροή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις τρεις μετρήσεις που έρχονται από τον αισθητήρα, υγρασία φύλλων, υγρασία εδάφους και θερμοκρασία εδάφους. Επειδή κάθε κύκλος μετρήσεων γίνεται σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, η σύνδεσή των μετρήσεων επιτρέπει την μετέπειτα καλύτερη οργάνωση των δεδομένων στον πίνακα της βάσης.



Εικόνα 50: Κόμβος Join

Κόμβος Συνάρτησης

Η συνάρτηση που ακολουθεί, χρησιμοποιείται για να εισάγει τα δεδομένα στη βάση δεδομένων, μέσω του κόμβου που ακολουθεί. Ο κόμβος αυτός αναπαριστά μία συνάρτηση Java. Ως είσοδο δέχεται το συγχωνευμένο μήνυμα των τριών μετρήσεων, ενώ η έξοδός του είναι η εγγραφή των δεδομένων στην βάση δεδομένων. Για την εγγραφή αυτή, η συνάρτηση που ορίζεται είναι η εξής:



Εικόνα 51: Κόμβος Συνάρτησης

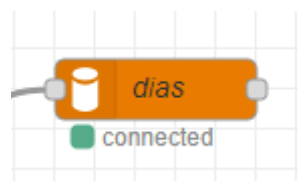
```
1 ▾ msg.topic="INSERT INTO sensors VALUES ("
2   + msg.payload_fields.payload[0] +","'"
3   + msg.payload_fields.payload[1] +","'"
4   + msg.payload_fields.payload[2] +"'");
5   return msg;
```

Εικόνα 52: Κώδικας Συνάρτησης

Κόμβος Βάσης δεδομένων

Ο κόμβος αυτός είναι υπεύθυνος για τη σύνδεση του προγράμματος NodeRed με τη βάση δεδομένων που έχει δημιουργηθεί, έτσι ώστε να επιτευχθεί η εγγραφή δεδομένων στη βάση. Ταυτόχρονα, ανάλογα με την περίπτωση χρήσης του κόμβου, μπορεί να επιτραπεί και η διαγραφή δεδομένων.

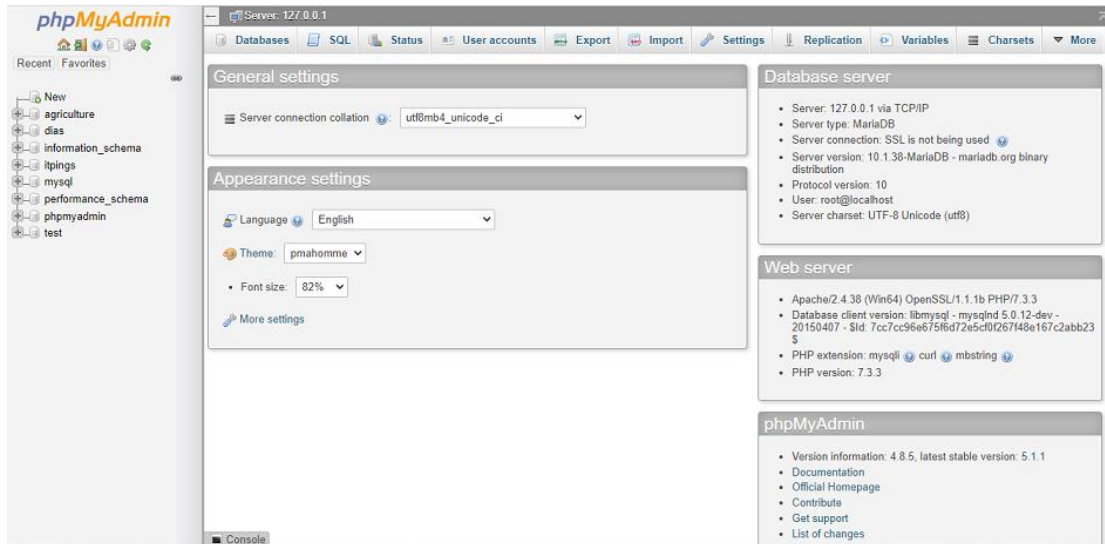
Η λειτουργία που θα επιτελέσει ο κόμβος αυτός, ορίζεται από τον κόμβο της συνάρτησης, όπου msg.topic είναι το query που θα εκτελεστεί (INSERT,DELETE).



Εικόνα 53: Κόμβος Βάσης Δεδομένων

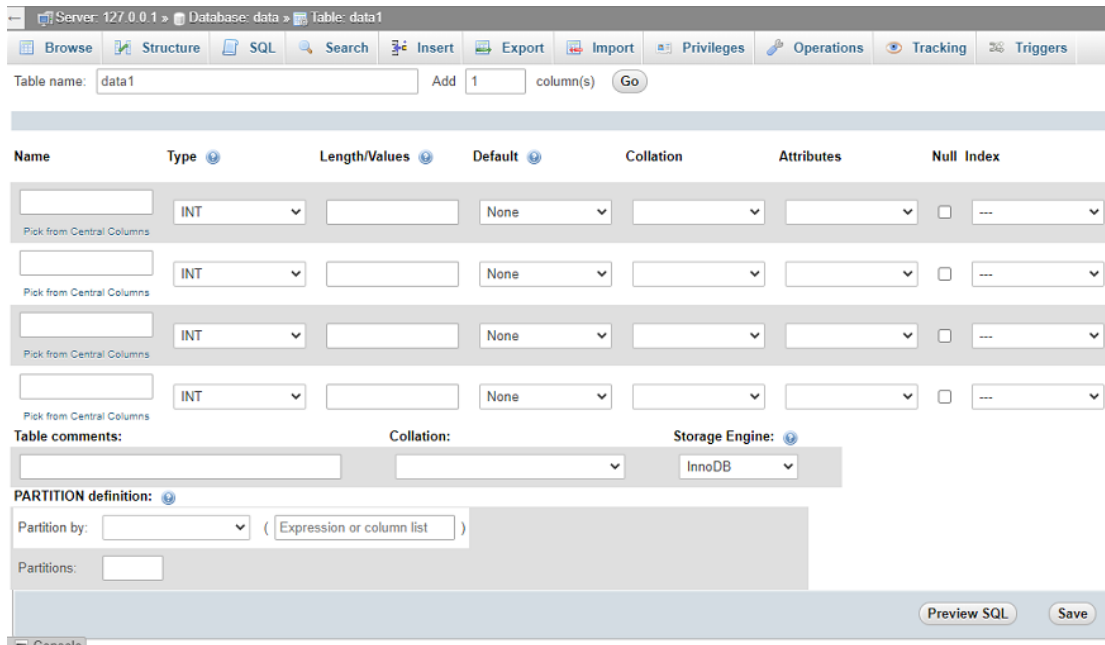
4.4.5 phpMyAdmin

Για την αποθήκευση των δεδομένων υπάρχει η ανάγκη να δημιουργηθεί μία βάση δεδομένων, στο επιλεγμένο πρόγραμμα phpMyAdmin.



Εικόνα 54: Βάση δεδομένων PhpMyAdmin

Δημιουργώντας μία νέα βάση δεδομένων, και προσθέτοντας τα κατάλληλα πεδία στη βάση, καθίσταται δυνατή η αποθήκευση των δεδομένων στη βάση.



Εικόνα 55: Δημιουργία Βάσης Δεδομένων

Μέσω του κόμβου database του προγράμματος node-red, τα δεδομένα περνούν στη βάση δεδομένων, ώστε να γίνει η εγγραφή τους στον κατάλληλο πίνακα.

pt1000	leaf-wetness	watermark
24.16	0.00	0.00
24.16	0.00	0.00
24.16	0.00	0.00
24.16	0.00	0.00
24.16	0.00	0.00

Εικόνα 56: Αποθήκευση Δεδομένων στη βάση

Κεφάλαιο 5: Πειραματική εφαρμογή

5.1 Παρατηρήσεις καλλιέργειας Κρόκου Κοζάνης

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται μία τυπική καλλιέργεια κρόκου Κοζάνης



Εικόνα 57: Καλλιέργεια Κρόκου Κοζάνης[62]

Ιστορία

Κοζανίτες έμποροι εισήγαγαν στη Δυτική Μακεδονία από την Αυστρία κατά το 17ο αιώνα, την καλλιέργεια του κρόκου[63], που εδώ και 300 χρόνια καλλιεργείται σε μεγάλο βαθμό στο ομώνυμο χωριό της Κοζάνης, τον Κρόκο. Σήμερα επίσης ο κρόκος καλλιεργείται συστηματικά στα χωριά της περιοχής της Κοζάνης: Κρόκος, Άνω Κώμη, Κάτω Κώμη, Καρυδίτσα, Κοζάνη, Αγία Παρασκευή, Αιανή, Βαθύλακος, Καισαριά, Πετρανά, Λευκοπηγή κ. ά. Το 1971 ιδρύθηκε ο Αναγκαστικός Συνεταιρισμός Κροκοπαραγωγών που προήγαγε την καλλιέργεια κρόκου ως οικονομικά σημαντική στην περιοχή και μεριμνά για επεξεργασία, τυποποίηση και διάθεση του προϊόντος.

Στην παγκόσμια αγορά έχει επικρατήσει η εμπορική ονομασία Σαφράν. Στο εμπόριο ο ελληνικός κρόκος διατίθεται με την ονομασία προέλευσης: ΚΡΟΚΟΣ ΚΟΖΑΝΗΣ. Η παρακάτω εικόνα τονίζει τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυτού και τη σημασία της καλλιέργειας του κρόκου στην περιοχή.



Εικόνα 58: Σημασία Κρόκου Κοζάνης [62]

Χαρακτηριστικά της καλλιέργειας αποτελούν τα εξής :

Οι βολβοί που έχουν διάμετρο 2-3cm, σφαιρικό σχήμα και είναι σαρκώδεις με καστανόφαιους δικτυωτούς χιτώνες. Φυτεύονται σε απόσταση 10-15 εκατοστά μεταξύ τους και 20-25 εκατοστά βάθους. Για τη φυτεία ενός στρέμματος χρειάζονται περίπου 250-350 κιλά βολβοί. [64]

Τα λουλούδια που αναπτύσσονται, συνήθως ένα έως τρία από κάθε βολβό, σχηματίζουν μικρά ανορθωμένα χωνάκια, που με την παρέλευση ορισμένων ωρών ανοίγουν χάνοντας το πρώτο τους σχήμα. Αυτά αποτελούνται από 6 βαθυγάλαζα-μώβ πέταλα, μήκους 4-5cm και πλάτους 1cm, 3 κίτρινους στήμονες, τον στύλο, που χωρίζεται σε 3 στίγματα και την ωοθήκη, που είναι τρίχωρη, στενή και περιέχει πολλά καστανά σε στρογγυλό σχήμα σπέρματα[64]. Τα στίγματα ειδικότερα, που αποτελούν και την δρόγη του φυτού, έχουν κόκκινο προς το πορτοκαλί στιλπνό χρώμα, μήκους 40-50mm μαζί με το μέρος του στύλου, στο πάνω άκρο τους είναι οδοντωτά και γέρνουν από το βάρος τους προς τα κάτω, πολλές φορές έξω από το χωνάκι που σχηματίζουν τα πέταλα[64].

Απαιτήσεις εδάφους κρόκου Κοζάνης

Ο κρόκος Κοζάνης, με παγκόσμια ονομασία Σαφράν, είναι εύκολο φυτό στην καλλιέργειά του, καθώς δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις ως προς τις εδαφοκλιματικές συνθήκες. Απαιτεί ήπιο κλίμα και ελάχιστες βροχοπτώσεις, ενώ ευδοκιμεί καλύτερα

σε εδάφη εύθρυπτα αργιλλοασβεστούχα και καλά αποστραγγιζόμενα, με υφή διαπερατή, ώστε να επιτρέπεται η καλή και εύκολη διείσδυση των ριζών[64]. Η αναπαραγωγή γίνεται με την φυσική ανάπτυξη του υπόγειου τμήματος αναπαραγωγής, ιδιότητα η οποία συναντάται δύσκολα σε φυτά. Η φυτεία γίνεται συνήθως κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ τα λουλούδια αρχίζουν να αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου[64].

5.2 Τοποθέτηση Εξοπλισμού

Η τοποθέτηση του εξοπλισμού καθορίζεται αφενός από τις τεχνικές προδιαγραφές της πλακέτας και αφετέρου από τις ανάγκες της αναπτυσσόμενης εφαρμογής.

Αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους(pt-1000)

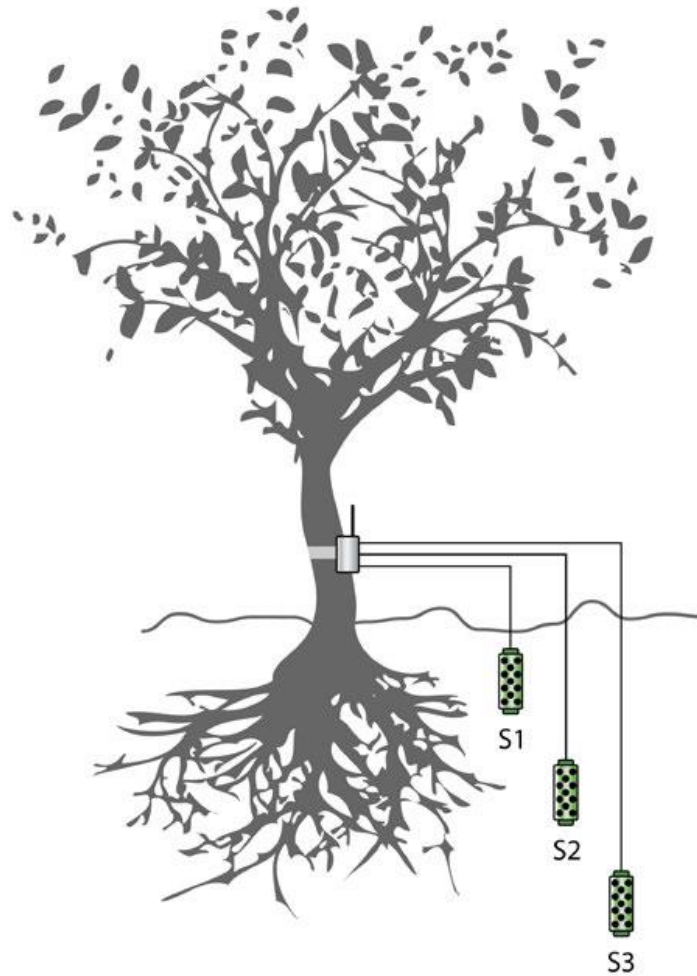
Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους, για τη σωστή συλλογή δεδομένων αλλά και για την εξασφάλιση της ορθότητάς τους, απαιτεί τη βύθισή του κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ανάλογα με την καλλιέργεια και τις ανάγκες της μελέτης της καλλιέργειας, είναι δυνατή η προσαρμογή του βάθους βύθισης.

Αισθητήρας Υγρασίας φύλλων

Ο αισθητήρας υγρασίας φύλλων για τη σωστή συλλογή δεδομένων αλλά και για την εξασφάλιση της ορθότητάς τους, απαιτεί την απόλυτη επαφή με την επιφάνεια του φυλλώματος.

Αισθητήρας Υγρασίας εδάφους

Ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους, για τη σωστή συλλογή δεδομένων αλλά και για την εξασφάλιση της ορθότητάς τους, απαιτεί τη βύθισή του κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Η πλακέτα της των αισθητήρων, επιτρέπει τη ταυτόχρονη σύνδεση τριών αισθητήρων υγρασίας εδάφους. Σύμφωνα με αυτό, ανάλογα με τις ανάγκες της μελέτης της καλλιέργειας, είναι δυνατή η μέτρηση της υγρασίας σε τρία διαφορετικά επίπεδα, προσαρμόζοντας το βάθος βύθισης των αισθητήρων. Για το παρόν σύστημα, εφαρμόστηκε ένας αισθητήρας υγρασίας εδάφους, στο πρώτο επίπεδο, όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 59: Βάση φύτευσης αισθητήρα υγρασίας εδάφους [71]

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η τοποθέτηση των αισθητήρων θερμοκρασίας και υγρασίας εδάφους.



Εικόνα 60: Απεικόνιση τοποθέτησης αισθητήρων

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται η τοποθέτηση της πλακέτας, όπως και των αισθητήρων.



Εικόνα 61: Τοποθέτηση Πλακέτας Waspmote

5.3 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την παρακολούθηση της καλλιέργειας του Κρόκου Κοζάνης έγιναν μετρήσεις σε τρία χρονικά διαστήματα. Κατά την περίοδο πριν τη φύτευση των βολβών, δηλαδή στο τέλος του Ιουνίου, κατά την περίοδο ανάπτυξης των φυλλώματος, δηλαδή στις αρχές Οκτωβρίου, και τέλος κατά τη περίοδο όπου η καλλιέργεια είναι πλήρως ανεπτυγμένη, δηλαδή στις αρχές Νοεμβρίου.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης συλλέχθηκαν δεδομένα θερμοκρασίας εδάφους, υγρασίας φύλλων και υγρασίας εδάφους. Η συλλογή αυτή έγινε με τους αισθητήρες και τον τρόπο τοποθέτησής τους που έχει ήδη αναφερθεί.

Περίοδος Ιούνιος (26-Ιουνίου – 14-Ιουλίου)

Κατά την χρονική περίοδο αυτή, τυπικά γίνεται η σπορά των βολβών. Κατά τη σπορά το έδαφος πρέπει να είναι καλά αποστραγγιζόμενο, να μην περιέχει δηλαδή συμπαγή υγρά, καθώς οδηγούν στο σάπισμα των βολβών. Θα πρέπει δηλαδή τα επίπεδα υγρασίας του εδάφους να είναι σε πολύ χαμηλά(ή ακόμα και μηδενικά) επίπεδα[72].

Όσον αφορά τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και του εδάφους, δεν έχει συσχετιστεί με την απόδοση του βολβού και, κατ' επέκτασιν, με την απόδοση ολόκληρης της καλλιέργειας, δεδομένου βέβαια ότι παραμένει σε φυσιολογικά για την εποχή επίπεδα, χωρίς ακραίες πτώσεις ή αυξήσεις της θερμοκρασίας.

Κατά αυτήν τη χρονική περίοδο οι θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κινήθηκε σε κανονικά επίπεδα, με εξαίρεση δύο περιόδους αυξημένης θερμοκρασίας ατμόσφαιρας διάρκειας δύο ημερών. Κατά το διάστημα αυτό παρατηρήθηκε επίσης βροχόπτωση με διάρκεια δύο ημερών.

Η μελέτη της περιοχής τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο, έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα.

Διάγραμμα μεταβολής Θερμοκρασίας Εδάφους



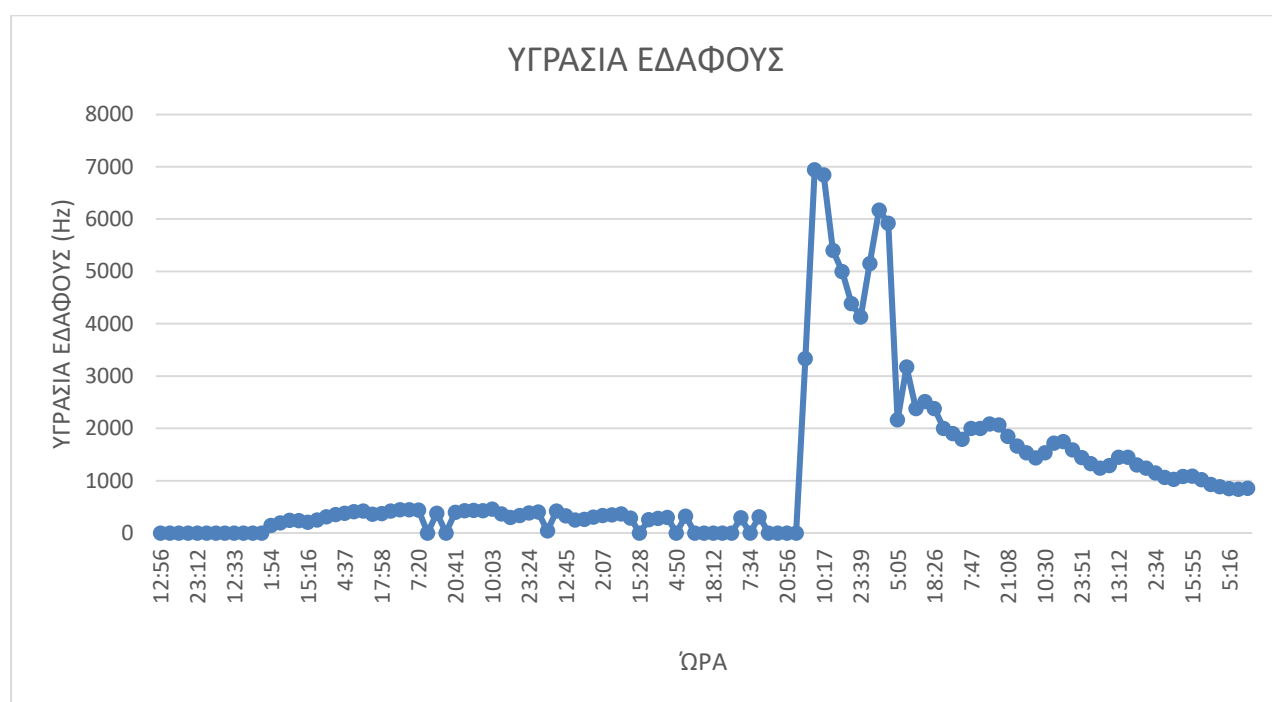
Εικόνα 62: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζεται αποκλειστικά από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη χρονική περίοδο της μελέτης. Η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και τα επίπεδα ηλιοφάνειας είναι οι δύο παράγοντες που καθορίζουν τη θερμοκρασία του εδάφους.

Η θερμοκρασία του εδάφους κατά το διάστημα αυτό, κινήθηκε σε φυσιολογικά επίπεδα και ελάχιστα πιο αυξημένη από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Δεν παρατηρήθηκαν ακραίες μετρήσεις ή μεταβολές στη θερμοκρασία, με εξαίρεση δύο τιμών στις 26 Ιουνίου και μία τιμή στις 29 Ιουνίου. Οι τιμές αυτές παρατηρήθηκαν ελαφρώς αυξημένες, όμως με μικρή διάρκεια, καθώς οι επόμενες τιμές επανήλθαν στα φυσιολογικά επίπεδα.

Το γεγονός αυτό δεν επηρέασε την ποιότητα και την απόδοση του βολβού και κατ' επέκτασιν του φυτού, λόγω της μικρής διάρκειά του.

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Εδάφους



Εικόνα 63: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους

Όπως προαναφέρθηκε κατά τη περίοδο αυτή παρατηρήθηκε ένα μικρό χρονικό διάστημα δύο ημερών στο οποίο παρατηρήθηκε βροχόπτωση χαμηλής διάρκειας, όμως υψηλής έντασης. Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα.

Είναι εμφανής η διαφορά στις τιμές των μετρήσεων κατά το προαναφερθέν χρονικό διάστημα (6 Ιουλίου – 8 Ιουλίου). Κατά το διάστημα αυτό η καμπύλη της διακύμανσης αυξήθηκε κατακόρυφα. Στη συνέχεια, λόγω της διακοπής της βροχόπτωσης, η καμπύλη ξεκίνησε καθοδική πορεία, ενώ η επόμενη ακριβώς αύξηση προέκυψε από νέα βροχόπτωση.

Με την πάροδο της δεύτερης βροχόπτωσης, η καμπύλη παρουσίασε καθοδική πορεία. Το γεγονός της σταδιακής μείωσης του ποσοστού υγρασίας του εδάφους, προκύπτει από την απορροφητική ιδιότητα του εδάφους, αλλά και από το βάθος στο οποίο έχει τοποθετηθεί ο αισθητήρας, ο οποίος δεν βρίσκεται στην επιφάνεια, αλλά στο επίπεδο φύτευσης του βολβού.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα επίπεδα υγρασίας κινήθηκαν σε φυσιολογικά και αναμενόμενα επίπεδα. Η βροχόπτωση δεν επηρέασε την πορεία ανάπτυξης του βολβού, λόγω της μικρής διάρκειάς της, αλλά και την υψηλής θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας, η οποία συνέβαλε στην μείωσή της.

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Φύλλων

Όπως προαναφέρθηκε, κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που έγιναν οι μετρήσεις, το φύλλωμα του κρόκου δεν έχει ακόμα αναπτυχθεί, καθώς έχει γίνει μόλις η φύτευσή του. Οπότε δεν λήφθηκαν μετρήσεις υγρασίας φύλλων για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Περίοδος Οκτωβρίου (6-Οκτωβρίου – 24- Οκτωβρίου)

Την περίοδο του Οκτωβρίου, το φυτό και η καλλιέργεια του κρόκου έχουν ήδη αναπτυχθεί. Ανάλογα με την περίοδο φύτευσης του βολβού, υπάρχει η πιθανότητα, η καλλιέργεια να είναι έτοιμη για συγκομιδή ή να χρειάζεται περίπου έναν μήνα ακόμη. Είτε είναι έτοιμη για συγκομιδή, είτε όχι, το φυτό έχει αναπτυχθεί. Για τη συγκεκριμένη

καλλιέργεια που μελετήθηκε, το φυτό είναι σε περίοδο ακμής, χωρίς όμως να είναι έτοιμο για συγκομιδή. Το φύλλωμα του έχει αναπτυχθεί, και αρχίζουν να εμφανίζονται τα πρώτα στίγματα του κρόκου.

Κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο αναμένονται να ξεκινήσουν οι πρώτες χειμερινές βροχές, οπότε οποιαδήποτε αύξηση στα επίπεδα της υγρασίας είναι αναμενόμενη.

Κατά τη προαναφερθείσα χρονική περίοδο παρακολούθησης, οι θερμοκρασία της ατμόσφαιρας κινήθηκε σε κανονικά επίπεδα, ενώ παρατηρήθηκαν συχνές βροχοπτώσεις, με πολύ μικρή διάρκεια και ένταση.

Διάγραμμα μεταβολής Θερμοκρασίας Εδάφους

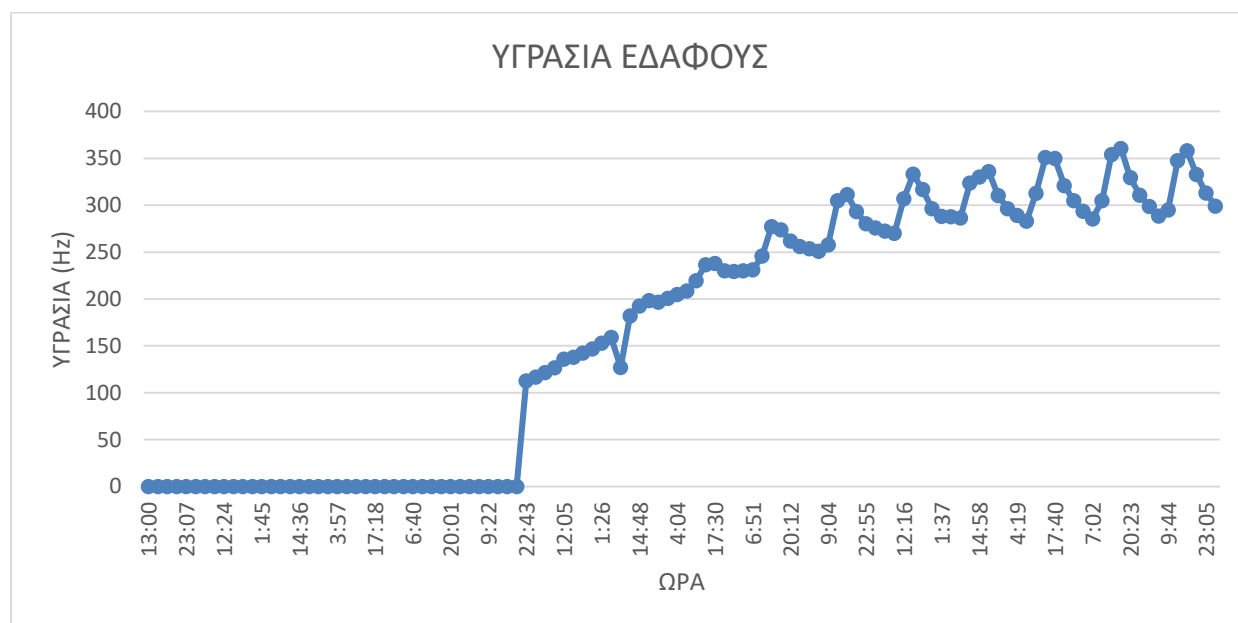


Εικόνα 64: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους κατά το διάστημα παρακολούθησης, κινήθηκε σε φυσιολογικά επίπεδα και ελάχιστα πιο αυξημένη από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Δεν παρατηρήθηκαν ακραίες μετρήσεις ή μεταβολές στη θερμοκρασία.

Τα επίπεδα τη θερμοκρασίας, παρόλο που αρχικά φαίνονται μειωμένα δεν επηρέασαν την απόδοση και την ποιότητα του κρόκου, καθώς η καλλιέργεια είναι ιδιαίτερα ανθεκτική σε χαμηλές θερμοκρασίες, με κατώτατο όριο αυτό των 10 Κελσίου.

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Εδάφους



Εικόνα 65: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Εδάφους

Όπως προαναφέρθηκε κατά τη περίοδο αυτή παρατηρήθηκε οι πρώτες βροχοπτώσεις του χειμώνα, οι οποίες ξεκίνησαν στις 13 Οκτωβρίου. Από αυτή τη χρονική στιγμή παρατηρείται και η μεταβολή στα επίπεδα υγρασίας του εδάφους στο παραπάνω διάγραμμα.

Σε αντίθεση με την προηγούμενη χρονική περίοδο μελέτης, σε αυτήν την περίπτωση δεν υπάρχει άμεση πτώση της καμπύλης λόγω των συνεχών πολλών μικρών βροχοπτώσεων.

Λόγω των συχνών βροχοπτώσεων αλλά και του χαμηλού επιπέδου της θερμοκρασίας του εδάφους, το ποσοστό υγρασίας, αφενός παρουσιάζει πολύ μικρότερη πτωτική τάση, αφετέρου αυξάνεται κάθε φορά που εμφανίζεται βροχόπτωση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αυξομείωση της καμπύλης του ποσοστού υγρασίας, ενώ ταυτόχρονα δικαιολογεί το γεγονός της αυξητικής τάσης της καμπύλης.

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Φύλλων

Λόγω της πορείας της καλλιέργειας και της περιόδου κατά την οποία φυτεύτηκαν οι βολβοί, κατά τη συγκεκριμένη περίοδο παρακολούθησης δεν έχει αναπτυχθεί πλήρως το φύλλωμα της καλλιέργειας, οπότε και δεν λήφθηκαν μετρήσεις υγρασίας φύλλων.

Περίοδος Νοεμβρίου (14-Νοεμβρίου – 23 - Νοεμβρίου)

Την περίοδο του Νοεμβρίου, το φυτό και η καλλιέργεια του κρόκου έχουν ήδη αναπτυχθεί, και η καλλιέργεια να είναι έτοιμη για συγκομιδή. Για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια το φυτό είναι σε περίοδο συλλογής, οπότε το φυτό είναι πλήρως ανεπτυγμένο.

Κατά τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο αναμένονται βροχές, καθώς και αισθητή μείωση της θερμοκρασίας, οπότε οποιαδήποτε αύξηση στα επίπεδα της υγρασίας είναι αναμενόμενη.



Εικόνα 66: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους

Η θερμοκρασία του εδάφους κατά το διάστημα παρακολούθησης, κινήθηκε σε φυσιολογικά επίπεδα και ελάχιστα πιο αυξημένη από τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Δεν παρατηρήθηκαν ακραίες μετρήσεις ή μεταβολές στη θερμοκρασία.

Τα επίπεδα τη θερμοκρασίας, παρόλο που αρχικά φαίνονται μειωμένα δεν επηρέασαν την απόδοση και την ποιότητα του κρόκου, καθώς η καλλιέργεια είναι ιδιαίτερα ανθεκτική σε χαμηλές θερμοκρασίες, με κατώτατο όριο αυτό των 10 Κελσίου.

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Εδάφους

Όπως προαναφέρθηκε κατά την περίοδο αυτή αναμένονται βροχές αλλά και υψηλά επίπεδα υγρασίας στο έδαφος.

Όπως παρατηρούμε στο διάγραμμα μεταβολής της υγρασίας του εδάφους, η καμπύλη έχει παραμείνει στο μηδέν. Η ένδειξη αυτή δεν είναι αναμενόμενη, καθώς ακόμα και να μη υπήρχαν βροχοπτώσεις, την συγκεκριμένη περίοδο, λόγω του κλίματος της ευρύτερης περιοχής της Κοζάνης, θα πρέπει να υπήρχαν έστω και χαμηλές ενδείξεις υγρασίας.

Εικάζεται ότι εξωτερικοί παράγοντες δεν επέτρεψαν την σωστή λήψη δεδομένων υγρασίας, καθώς στις καλλιέργειες Κρόκου, είναι συχνή η εμφάνιση μικρών τρωκτικών, οι οποίοι τρέφονται από τους βολβούς. Σύμφωνα με αυτά, πιο πιθανό σενάριο για την μη ορθή λήψη δεδομένων, είναι η μετακίνηση του αισθητήρα από το βάθος βύθισής του, στην επιφάνεια του χώματος, η οποία δε διατηρεί υγρασία.



Εικόνα 67: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Εδάφους

Διάγραμμα μεταβολής Υγρασίας Φύλλων

Κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα μελέτης της καλλιέργειας, παρατηρήθηκαν βροχοπτώσεις μικρής διάρκειας, συγκεκριμένα λίγων ωρών, η οποία επηρέασε και το ποσοστό υγρασίας του φυλλώματος, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα.

Καθώς τα φύλλα του φυτού βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους, η υγρασία δεν παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αυτά. Σύμφωνα με αυτό, είναι αναμενόμενη η κατακόρυφη αύξηση, αλλά και η μείωση, της καμπύλης.



Εικόνα 68: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Φύλλων

5.4 Παρατηρήσεις και Προβλήματα Συστήματος.

Παρατηρήσεις και προβλήματα κατά την ανάπτυξη του Δικτύου

Κατά την ανάπτυξη του Δικτύου παρατηρήθηκαν τα εξής προβλήματα:

1. Πύλη δεδομένων(Gateway): Για την αποστολή των δεδομένων από τους αισθητήρες στο σύστημα, τα δεδομένα περνούν μέσα από την πύλη δεδομένων. Καθώς η εμβέλεια της πύλης αλλά και του πρωτοκόλλου LoRa είναι περιορισμένη, η πύλη δεδομένων οφείλει να είναι εντός εμβέλειας της καλλιέργειας. Ειδικότερα, λόγω των περιορισμών του πρωτοκόλλου LoRa, θα πρέπει να βρίσκεται και εντός οπτικής επαφής από την πλακέτα των αισθητήρων.
2. Για την αποτελεσματικότερη παρακολούθηση της καλλιέργειας, η συλλογή δεδομένων πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια εκτεταμένης χρονικής περιόδου, περίπου 15-20 ημερών. Για να περαστούν τα δεδομένα στη βάση δεδομένων, η εφαρμογή NodeRed, θα πρέπει να είναι συνεχώς σε λειτουργία. Σύμφωνα με αυτό, ένας υπολογιστής θα πρέπει να παραμένει συνεχώς ανοιχτός, ώστε να μπορούν τα δεδομένα να αποθηκεύονται στη βάση, χωρίς να υπάρξουν απώλειες.

Κατά τη συλλογή των δεδομένων παρατηρήθηκαν τα εξής προβλήματα:

1. Καθώς το δίκτυο που αναπτύχθηκε είναι ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και ο κόμβος εξυπηρετητής βρίσκεται σε διαφορετικό μέρος από τους αισθητήρες συλλογής δεδομένων, το δίκτυο αισθητήρων δεν βρίσκεται υπό συνεχή παρακολούθηση. Αυτό σημαίνει ότι τυχόν προβλήματα στη συλλογή δεδομένων ή ακόμα και στον εξοπλισμό, δεν γίνονται άμεσα αντιληπτά ή και καθόλου, αναλόγως με την περίπτωση του σφάλματος. Επιπλέον, για τον ίδιο λόγο, είναι πιο πιθανή η καταστροφή ή υποκλοπή του εξοπλισμού.

5.5 Μελλοντικές εφαρμογές

Όσον αφορά το μέλλον της τρέχουσας εφαρμογής, καθώς είναι ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, ανά πάσα στιγμή μπορούν να προστεθούν νέοι αισθητήρες στην υπάρχουσα πλακέτα Waspmote, ή ακόμα και νέες πλακέτες, επεκτείνοντας έτσι το δίκτυο, αλλά και την περιοχή μελέτης.

Επιπλέον, καθώς το δίκτυο LoRaWAN επεκτείνεται συνεχώς, τα προβλήματα της κάλυψης και της απαραίτητης οπτικής επαφής, σιγά σιγά αντιμετωπίζεται. Ήδη στην περιοχή μελέτης αναπτύσσεται δίκτυο LoRaWAN, το οποίο θα καλύπτει ολόκληρη την περιοχή της Κοζάνης, και των καλλιέργειών του Κρόκου.

Όσον αφορά το μέλλον την Γεωργίας Ακριβείας προβλέπεται ευόιο. Οι σύγχρονες ανάγκες και οι ευκολίες που προσφέρει η Γεωργία Ακριβείας, οδηγούν στην όλο και μεγαλύτερη υιοθέτησή της. Σε αυτό συμβάλλει και η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας, και ειδικότερα του Δικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things), το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη μεγαλύτερων και αποδοτικότερων δικτύων, αντιμετωπίζοντας προβλήματα συνδεσιμότητας και κινητικότητας.

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Δομικά στοιχεία Κόμβου.....	11
Εικόνα 2: Επίγειο Δίκτυο Αισθητήρων	16
Εικόνα 3: Υπόγειο Δίκτυο Αισθητήρων	17
Εικόνα 4 : Υποθαλάσσιο Δίκτυο Αισθητήρων	18
Εικόνα 5: Multimedia Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων	19
Εικόνα 6: Κινητό Δίκτυο Αισθητήρων	20
Εικόνα 7: Μοντέλο Αναφοράς OSI	20
Εικόνα 8: Τοπολογία Peer To Peer	24
Εικόνα 9: Τοπολογία Αστέρα	25
Εικόνα 10: Τοπολογία Δέντρου	25
Εικόνα 11: Τοπολογία Πλέγματος	26
Εικόνα 12: Οικογένεια Πρωτοκόλλων 802.11	27
Εικόνα 13: Πρωτόκολλο Bluetooth	28
Εικόνα 14: Πρωτόκολλο UWB.....	29
Εικόνα 15: Πρωτόκολλο ZigBee	30
Εικόνα 16: : Πρωτόκολλο WiMax.....	31
Εικόνα 17: Πρωτόκολλο WirelessHart.....	32
Εικόνα 18: Πρωτόκολλο LoRaWAN.....	33
Εικόνα 19: Internet of Things στην Γεωργία.....	52
Εικόνα 20: Στατιστικά Στοιχεία Γεωργίας Ακριβείας στην Ελλάδα.....	54
Εικόνα 21: Αρχιτεκτονική Δικτύου LoraWan	57
Εικόνα 22: Αρχιτεκτονική κωδικοποίησης LoRa.....	58
Εικόνα 23: Δομή Μηνύματος στη Ζεύξη Ανόδου Κλάσης A	60
Εικόνα 24: Δομή Μηνύματος στη Ζεύξη Καθόδου Κλάσης A	61

Εικόνα 25: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης A	61
Εικόνα 26: Παράθυρα Λήψης Τελικών Συσκευών.....	62
Εικόνα 27: Πεδίο FCtrl Κλάσης B.....	63
Εικόνα 28: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης B	64
Εικόνα 29: Μεταβίβαση Μηνυμάτων LoRa Κλάσης A	65
Εικόνα 30: LorixOne	68
Εικόνα 31: Εσωτερικό LorixOne.....	72
Εικόνα 32: Πλακέτα Waspnote.....	73
Εικόνα 33: Λογισμικό Waspnote IDE	74
Εικόνα 34: Πλακέτα Agriculture Pro.....	75
Εικόνα 35: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους (Watermark).....	76
Εικόνα 36: Αισθητήρας Υγρασίας Φύλλων (LWS)	77
Εικόνα 37: Αισθητήρας Θερκρασίας Εδάφους.....	78
Εικόνα 38: Θύρες Σύνδεσης Πλακέτας Waspnote	79
Εικόνα 39: The Things Network	80
Εικόνα 40: Σύνδεση σε LorixOne μέσω τερματικού.....	85
Εικόνα 41: Ρύθμιση Παραμέτρων δικτύου LorixOne	86
Εικόνα 42: Ρύθμιση Παραμέτρων The Thing Network.....	87
Εικόνα 43: Καρτέλα gateways.....	88
Εικόνα 44: Καρτέλα gateways.....	88
Εικόνα 45: Σύνδεση Waspnote πλακέτας και Λογισμικού.....	89
Εικόνα 46: Σύνδεση Waspnote πλακέτας και Λογισμικού (θύρα).....	89
Εικόνα 47: Ροή δεδομένων σε NodeRed	90
Εικόνα 48: Κόμβος TTN.....	90
Εικόνα 49Κόμβος Json	91

Εικόνα 50: Κόμβος Join.....	91
Εικόνα 51: Κόμβος Συνάρτησης.....	91
Εικόνα 52: Κώδικας Συνάρτησης.....	92
Εικόνα 53: Κόμβος Βάσης Δεδομένων.....	92
Εικόνα 54: Βάση δεδομένων PhpMyAdmin.....	93
Εικόνα 55: Δημιουργία Βάσης Δεδομένων.....	93
Εικόνα 56: Αποθήκευση Δεδομένων στη βάση.....	94
Εικόνα 57: Καλλιέργεια Κρόκου Κοζάνης.....	95
Εικόνα 58: Σημασία Κρόκου Κοζάνης.....	96
Εικόνα 59: Βάση φύτευσης αισθητήρα υγρασίας εδάφους.....	98
Εικόνα 60: Απεικόνιση τοποθέτησης αισθητήρων.....	98
Εικόνα 61: Τοποθέτηση Πλακέτας Waspote.....	99
Εικόνα 62: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους.....	100
Εικόνα 63: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους.....	101
Εικόνα 64: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους.....	103
Εικόνα 65: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Εδάφους.....	104
Εικόνα 66: Γραφική αναπαράσταση Θερμοκρασίας Εδάφους.....	105
Εικόνα 67: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Εδάφους.....	107
Εικόνα 68: Γραφική αναπαράσταση Υγρασίας Φύλλων.....	108

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Σύνοψη Πρωτοκόλλων Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων	34
Πίνακας 2: Φυσικά Χαρακτηριστικά Lorix One	67
Πίνακας 3: Σύστημα LorixOne	69
Πίνακας 4: Θύρες Σύνδεσης LorixOne.....	69
Πίνακας 5: Κεραία Σύνδεσης LorixOne	71
Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά Ενέργειας LorixOne	71
Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά Watermark	77
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά LWS.....	77
Πίνακας 9 : Χαρακτηριστικά PT-1000	78
Πίνακας 10: Θύρες Σύνδεσης Waspmote	79

Βιβλιογραφία

[1] I. D. Doukas, G. Retscher, M. Disasters, D. Management, S. Localization, and I. Europe, “the Contribution of Contemporary Sensors To the Management of Natural and Manmade Disasters - the Present and the Future,” *Change*, 2008.

[2] M. R. Mohd Kassim, I. Mat, and A. N. Harun, “Wireless sensor network in precision agriculture application,” *2014 Int. Conf. Comput. Inf. Telecommun. Syst. CITS 2014*, 2014, doi: 10.1109/CITS.2014.6878963.

[3] Inam Ullah Khan,2Alamgir Safi, 3Mohammad Arif,4Nazia Azim,5Shaheen Ahmad, “Wireless Sensor Network Applications for Healthcare”, Προσπέλαση: 23/5/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο https://www.researchgate.net/figure/Basic-components-of-sensor-node-in-a-Wireless-Sensor-Network_fig1_317338965

[4] Cloudfare “What are Gateways in Computer Network?” Προσπέλαση: 21/4/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://www.tutorialspoint.com/what-are-gateways-in-computer-network>

[5] “What is a router”Προσπέλαση: 22/5/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://www.cloudflare.com/learning/network-layer/what-is-a-router/>

[6] Ανδρέου Χαράλαμπος “Έρευνα Δικτυακών Αισθητήρων,” Πάτρα, 2011.

[7] Χριστοδουλάκης Δημήτριος «Μελέτη Δικτύων Ασυρμάτων Αισθητήρων, ενσωμάτωση και αλληλεπίδραση με νέες τεχνολογίες», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 2019, Προσπέλαση : 20/5/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://hellenicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/19818/%CE%9C%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7%20%CE%94%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%8D%CF%89%CE%BD%20%CE%91%CF%83%CF%85%CF%81%CE%BC%CE%AC%CF%84%CF%89%CE%BD%20%CE%91%CE%B9%CF%83%CE%B8%CE%B7%CF%84%CE%AE%CF%81%CF%89%CE%BD%2C.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

[8] Xiaqing Yu, “The research of an advanced wireless sensor networks for agriculture,” *African J. Agric. Res.*, vol. 7, no. 5, pp. 851–858, 2012, doi: 10.5897/ajarx11.067.

- [9] Linhui Wang 1, Xuejun Yue 1,2,*, Huihui Wang 3, Kangjie Ling 1, Yongxin Liu 4, Jian Wang 4, Jinbao Hong 1, Wen Pen 1 and Houbing Song , “Dynamic Inversion of Inland Aquaculture Water Quality Based on UAVs-WSN Spectral Analysis” , Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/338849543_Dynamic_Inversion_of_Inland_Aquaculture_Water_Quality_Based_on_UAVs-WSN_Spectral_Analysis
- [10] Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerstacker, Dipl.-Ing. Steven Kisseleff , “ Wireless Underground Sensor Networks ”, Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.idc.tf.fau.de/forschung/projekte/wireless-underground-sensor-networks/>
- [11] Nils Morozs*, Paul D. Mitchell, Yuriy Zakharov, Rahul Mourya, Yvan R. Petillot, Tyler Gibney, Mauro Dragone, Benjamin Sherlock, Jeffrey A. Neasham, Charalampos C. Tsimenidis, Mohammed E. Sayed, Alistair C. McConnell, Simona Aracri, Adam A. Stokes . “ Robust TDA-MAC for Practical Underwater Sensor Network Deployment: Lessons from USMART Sea Trials” Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/328580525_Robust_TDA-MAC_for_practical_underwater_sensor_network_deployment_Lessons_from_USMART_sea_trials
- [12] E. Shakshuki, “An Introduction to Wireless Multimedia Sensor Networks”, 2008, Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο:”, <https://www.semanticscholar.org/paper/Chapter-I-An-Introduction-to-Wireless-Multimedia-Shakshuki/3810fece8b56d42389c1c5f2367fa47717913dbb>
- [13] S. Munir, Biao Ren, Weiwei Jiao, Bin Wang, Dongliang Xie, J. Ma “Mobile Wireless Sensor Network: Architecture and Enabling Technologies for Ubiquitous Computing”, 2007. Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.semanticscholar.org/paper/Mobile-Wireless-Sensor-Network%3A-Architecture-and-Munir-Ren/cebe6f46f49d8c466d158e4663ccaa0bdfa48a86>
- [14]

“Μοντέλο αναφοράς OSI “Προσπέλαση: 21/5/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-diktyou/montelo-anaphoras-osi>

[15] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, “A survey on sensor networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp. 102–105, 2002, doi: 10.1109/MCOM.2002.1024422.

[16] Michael J. McGrathClíodhna Ní Scanail “Sensor Network Topologies and Design Considerations” 04 January 2014, Προσπέλαση: 21/5/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4302-6014-1_4

[17] “Τοπολογίες Δικτύων” Προσπέλαση: 17/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://sites.google.com/site/eisagogestadiktyaypologiston1/architektonike-diktyou/topologies-diktyon>

[18] Michael J. McGrathClíodhna Ní Scanail, “Sensor Network Topologies and Design Considerations”,2014 Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4302-6014-1_4

[19] S. Kharb and A. Singhrova, “REVIEW OF INDUSTRIAL STANDARDS FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS Introduction to Wireless Sensor Network (WSN),” no. June 2017, 2015.

[20] F. Labeau, A. Agarwal, and B. Agba, “Comparative study of Wireless Sensor Network standards for application in Electrical Substations,” *2015 Int. Conf. Comput. Commun. Secur. ICCCS 2015*, pp. 1–5, 2016, doi: 10.1109/CCCS.2015.7374135.

[21] M. Lauridsen, H. Nguyen, B. Vejlgaard, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, and M. Sorensen, “Coverage Comparison of GPRS, NB-IoT, LoRa, and SigFox in a 7800 km Area,” *IEEE Veh. Technol. Conf.*, vol. 2017-June, 2017, doi: 10.1109/VTCSpring.2017.8108182.

[22] H. M. Jawad, R. Nordin, S. K. Gharghan, A. M. Jawad, and M. Ismail, “Energy-efficient wireless sensor networks for precision agriculture: A review,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 8, 2017, doi: 10.3390/s17081781.

[23] T. Ojha, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, “Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 118, pp. 66–84, 2015, doi: 10.1016/j.compag.2015.08.011.

[24] S. Shiravale and S. M. Bhagat, “Wireless Sensor Networks in Agriculture Sector- Implementation and Security Measures,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 92, no. 13, pp. 25–29, 2014, doi: 10.5120/16069-5217.

- [25] Shahab Ali, “IEEE 802.11 Standards Exclusive Introduction” Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://networkustad.com/2019/11/16/ieee-802-11-standards/>
- [26] Sam Medley, “Bluetooth 5 officially adopted”, 2016, Προσπέλαση : 21/6/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.notebookcheck.net/Bluetooth-5-officially-adopted.186942.0.html>
- [27] Pijush Kanti Dutta Pramanika, Anand Nayyarb, Gaurav Pareekc “Driving e-healthcare Beyond Telemedicine to Remote Health Monitoring: Architecture and Protocols. 10 Μαΐου 2019 “ Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/ultra-wideband>
- [28] Charles Dachs, NXP Semiconductors “UWB: A reborn standard for high-accuracy location services”, 2020, Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.5gtechnologyworld.com/uwb-a-reborn-standard-for-high-accuracy-location-services/>
- [29] Unipi technology “ZigBee prototype project” Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.unipi.technology/products/zigbee-prototype-project-50>
- [30] P. Kavitha, Dr.R.Uma Rani, “CBRA: A Novel Game Theory, Cell-Degree based Resource Allocation Mechanisms in WiMax Wireless Network” 2014 Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/289479033_CBRA_A_Novel_Game_Theory_Cell-Degree_based_Resource_Allocation_Mechanisms_in_WiMax_Wireless_Network
- [31] By Chenyang Lu, Senior Member IEEE, Abusayeed Saifullah, Member IEEE, Bo Li, Mo Sha, Member IEEE, Humberto Gonzalez, Member IEEE, Dolvara Gunatilaka, Chengjie Wu, Lanshun Nie, and Yixin Chen, Senior Member IEEE “Real-Time Wireless Sensor-Actuator Networks for Industrial Cyber-Physical Systems”, 2015, Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: https://www.researchgate.net/publication/286382709_Real-Time_Wireless_Sensor-Actuator_Networks_for_Industrial_Cyber-Physical_Systems

- [32] “Understand LoRaWAN technology and build your own private LoRa network” 2018, Προσπέλαση: 06/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://iotfactory.eu/iot-event-in-brussels/understand-lorawan-technology-and-build-your-own-private-lora-network/>
- [33] Ramia Babiker Mohammed Abdelrahman, Amin Babiker A. Mustafa, Ashraf A. Osman, “A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards” 2015, Προσπέλαση: 15/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <http://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol17-issue5/Version-3/D017532629.pdf>
- [34] R. Ali, A. K. Pal, S. Kumari, M. Karuppiah, and M. Conti, “A secure user authentication and key-agreement scheme using wireless sensor networks for agriculture monitoring,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 84, pp. 200–215, 2018, doi: 10.1016/j.future.2017.06.018.
- [35] Μπούντου Ειρήνη , “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων” “ΑΕΙ Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα .;” 2018
- [36] N. Shabbir and S. R. Hassan, “Routing Protocols for Wireless Sensor Networks (WSNs),” *Wirel. Sens. Networks - Insights Innov.*, no. October, 2017, doi: 10.5772/intechopen.70208
- [37] Kingsley Eghonghon Ukhurebor, Ituabhor Odesanya, Silas Soo Tyokighir, Rout George Kerry, Akinola Samson Olayinka and Ayodotun Oluwafemi Bobadoye “Wireless Sensor Networks: Applications and Challenges 5 Οκτωβρίου 2020” Προσπέλαση: 15/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.intechopen.com/online-first/wireless-sensor-networks-applications-and-challenges>
- [38] D. C. Tsouros, A. Triantafyllou, S. Bibi, and P. G. Sarigannidis, “Data acquisition and analysis methods in UAV- based applications for precision agriculture,” *Proc. - 15th Annu. Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. DCOSS 2019*, pp. 377–384, 2019, doi: 10.1109/DCOSS.2019.00080.
- [39] Farmacon Team ,Χαρού Αναστασία, “Γεωργία ακριβείας: βασικές τεχνολογίες και έννοιες” 18 Νοεμβρίου 2016, Προσπέλαση: 210/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://blog.farmacon.gr/katigories/texniki-arthrografia/georgia-akriveias/item/1309-i-texnologa-tis-georgias-akriveias>
- [40] B. A. Aubert, A. Schroeder, and J. Grimaudo, “IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers’ adoption decision of precision agriculture technology,” *Decis. Support Syst.*, vol. 54, no. 1, pp. 510–520, 2012, doi: 10.1016/j.dss.2012.07.002.

[41] R. T. Sataloff, M. M. Johns, and K. M. Kost, “PRECISION AGRICULTURE: AN OPPORTUNITY FOR EU FARMERS - POTENTIAL SUPPORT WITH THE CAP 2014-2020.”

[42] A. Khanna and S. Kaur, “Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 157, no. December 2018, pp. 218–231, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.039.

[43] eip-agri, Agriculture and Innovation, Ειδική Υπηρεσία Διαχείρισης Προγράμματος Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020/ Μονάδα Δικτύωσης & Δημοσιότητας (Εθνικό Αγροτικό Δίκτυο Ελλάδας) “Συστήματα γεωργικής γνώσης και καινοτομίας, Ενθαρρύνοντας τη δημιουργικότητα και τη μάθηση”, Προσπέλαση: 16/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο https://ead.gr/wp-content/uploads/2019/11/brochure-Knowledge-systems_EL_final_web.pdf

[44] EIP-AGRI Focus Group, “Precision Farming: Final report,” no. November, p. 43, 2015 Προσπέλαση: 24/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/eip-agri_focus_group_on_precision_farming_final_report_2015.pdf

[45] “LoRaWAN™ Architecture”,2021, Προσπέλαση: 01/7/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://microchipdeveloper.com/lora:lorawan-architecture>

[46] A. Lavric and A. I. Petrariu, “LoRaWAN communication protocol: The new era of IoT,” *2018 14th Int. Conf. Dev. Appl. Syst. DAS 2018 - Proc.*, pp. 74–77, 2018, doi: 10.1109/DAAS.2018.8396074. *Options Assessment*, no. November. 2017.

[47] LoRa Alliance Technical Committee, “LoRaWAN 1.1 Specification,” *LoRaWAN 1.1 Specif.*, no. 1.1, p. 101, 2017, Προσπέλαση: 07/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawantm-specification-v11>.

[48] “LoRa- (Long Range) Network and Protocol Architecture & Frame Structure” ,2018, Προσπέλαση: 08/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.techplayon.com/lora-long-range-network-architecture-protocol-architecture-and-frame-formats/>

[49] “What are LoRa® and LoRaWAN®?Προσπέλαση: 021/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

- [50] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, and W. M. Townsley, “A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 9, pp. 1–18, 2016, doi: 10.3390/s16091466.
- [51] S. Devalal and A. Karthikeyan, “LoRa Technology - An Overview,” *Proc. 2nd Int. Conf. Electron. Commun. Aerosp. Technol. ICECA 2018*, no. Iceca, pp. 284–290, 2018, doi: 10.1109/ICECA.2018.8474715.
- [52] A. H. Jebril, A. Sali, A. Ismail, and M. F. A. Rasid, “Overcoming limitations of LoRa physical layer in image transmission,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 10, 2018, doi: 10.3390/s18103257.
- [53] A. Lavric and V. Popa, “LoRa™ Wide-Area Networks from an Internet of Things perspective,” *Proc. 9th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166397.
- [54] A. Lavric and V. Popa, “Internet of things and LoRa™ low-power wide- area networks challenges,” *Proc. 9th Int. Conf. Electron. Comput. Artif. Intell. ECAI 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166405.
- [55] LoRa- (Long Range) Network and Protocol Architecture & Frame Structure” 10 Οκτωβρίου 2018, Προσπέλαση: 16/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://www.techplayon.com/lora-long-range-network-architecture-protocol-architecture-and-frame-formats/>
- [56] Wifx, Network Specialist, LorixOne “User Manual User Manual,” vol. 3304, no. January, pp. 1–148, 2012.
- [57]: “Discover the LORIX One” ,Προσπέλαση: 22/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://www.lorixone.io/>
- [58] Libelium, “Plug & Sense! Technical Guide”, 2013, Προσπέλαση: 14/4/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <http://www.libelium.com/es/>.
- [59] Libelium, “Wasp mote Plug & Sense, Προσπέλαση: 14/4/21[Ηλεκτρονικά] , Διαθέσιμο στο: <https://development.libelium.com/plug-and-sense-technical-guide/general-view>

- [60] Libelium, “Agriculture Sensor Guide, Προσπέλαση: 14/4/21[Ηλεκτρονικά] , Διαθέσιμο στο:<https://development.libelium.com/agriculture-sensor-guide/waspmote-plugin-amp-sense>
- [61] The Things Network, Προσπέλαση: 18/6/21[Ηλεκτρονικά] , Διαθέσιμο στο: <https://www.thethingsnetwork.org/>
- [62] Δήμος Κοζάνης, “ Κρόκος Κοζάνης ” , Προσπέλαση: 15/5/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://cityofkozani.gov.gr/krokos-kozanes>
- [63] Kozani Saffron Producers Cooperative, “KROKOS KOZANIS”, Προσπέλαση: 15/5/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο: <https://safran.gr>
- [64] Μανώλης Πατσιλιάς, “Κρόκος : το φυτό και η καλλιέργεια του” Προσπέλαση: 15/5/21 [Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://www.iama.gr/ethno/crocus/ptsls.html>
- [65] Aqeel-ur-Rehman, “Smart Agriculture,” pp. 1–1, 2017, doi: 10.1109/icieect.2017.7916576.
- [66] Gaia ΕΠΙΧΕΙΡΗΝ: Κρόκος – Φυτό Προσπέλαση: 13/6/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CF%81%CF%8C%CE%BA%CE%BF%CF%82_%CF%86%CF%85%CF%84%CF%8C)
- [67] Χατζοπούλου Κυριακή, “ Παραγωγή και Μεταποίηση του Κροκού Κοζάνης: Προοπτικές Ανάπτυξης της Καλλιέργειας ” Θεσσαλονίκη, 2017, Προσπέλαση: 10/5/21[Ηλεκτρονικά] , Διαθέσιμο στο: <https://ikee.lib.auth.gr/record/295674/files/GRI-2018-20910.pdf>
- [68] M. Kritikos, *Precision agriculture in Europe Science and Technology*, 2017
- [69] Di. M. Ibrahim, “Internet of Things Technology based on LoRaWAN Revolution,” *2019 10th Int. Conf. Inf. Commun. Syst. ICICS 2019*, pp. 234–237, 2019, doi: 10.1109/IACS.2019.8809176.
- [70] M. Saari, A. Muzaffar Bin Baharudin, P. Sillberg, S. Hyrynsalmi, and W. Yan, “LoRa - A survey of recent research trends,” *2018 41st Int. Conv. Inf. Commun. Technol. Electron. Microelectron. MIPRO 2018 - Proc.*, pp. 872–877, 2018, doi: 10.23919/MIPRO.2018.8400161.

- [71] Χριστοδουλάκης Δημήτριος, “Μελέτη Δικτύων Ασυρμάτων Αισθητήρων , ενσωμάτωση και αλληλεπίδραση με νέες τεχνολογίες,” Πανεπιστήμιο Αιγαίου 2019.
- [72] A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis, S. Bibi, F. Vakouftsi, and P. Vassilis, “Modelling deployment costs of Precision Agriculture Monitoring Systems,” *Proc. - 16th Annu. Int. Conf. Distrib. Comput. Sens. Syst. DCOSS 2020*, pp. 252–259, 2020, doi: 10.1109/DCOSS49796.2020.00048.
- [73] A. Triantafyllou, P. Sarigiannidis, and S. Bibi, “Precision agriculture: A remote sensing monitoring system architecture,” *Inf.*, vol. 10, no. 11, 2019, doi: 10.3390/info10110348.
- [74] Μπόλλας Σάββας, “Δημιουργία Ασύρματου Δικτύου Αισθητήρων για την Παρακολούθηση Θέσης και Συναντήσεων Μεταξύ Κόμβων” Θεσσαλονικη, 2010
- [75] Καραϊλανίδης Κωνσταντίνος “Συγχρονισμός δικτύου ασύρματων αισθητήρων και εφαρμογές”, Θεσσαλονίκη, 2016.
- [76] Στεφανίδης Γεώργιος, “Δίκτυα Αισθητήρων σε Κατάσταση Κινδύνου,” Θεσσαλονίκη, 2010.
- [77] Μούγια Ελικιέρ, “Σχεδίαση κόμβων συστημάτων IoT με προδιαγραφές ασφαλείας,” 2019.
- [78] Βουραντώνης Σαράντος, “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων στην Περιβαλλοντική Παρακολούθηση,” Θεσσαλονίκη, 2012.
- [79] D. Y. Fong, “Wireless sensor networks,” *Internet Things Data Anal. Handb.*, pp. 197–213, 2017, doi: 10.1002/9781119173601.ch12.
- [80] D. Goyal and M. R. Tripathy, “Routing protocols in wireless sensor networks: A survey,” *Proc. - 2012 2nd Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Technol. ACCT 2012*, pp. 474–480, 2012, doi: 10.1109/ACCT.2012.98.
- [81] T. Kanade, L. O. Hertzberger, and F. C. A. Groen, *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 7, no. 2–3. 1991.
- [82] M. F. Ribeiro *et al.*, “Wireless Sensor Networks in agriculture and farming,” *Univ. Fed. do Triângulo Min.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, Προσπέλαση: 14/6/21 [Ηλεκτρονικά]. Διαθέσιμο στο: /citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Dpt-BR%26as_sdt%3D0,5%26scilib%3D1&citilm=1&citation_for_view=wS0xi2wAAA AJ:2osOgNQ5qMEC&hl=pt-BR&oi=p.
- [83] A. Tagarakis, V. Liakos, L. Perlepes, S. Fountas, and T. Gemtos, “Wireless sensor network for precision agriculture,” *Proc. - 2011 Panhellenic Conf. Informatics, PCI 2011*, pp. 397–402, 2011, doi: 10.1109/PCI.2011.60.

- [84] X. Yang, D. Deng, and M. Liu, “An overview of routing protocols on Wireless Sensor Network,” *Proc. 2015 4th Int. Conf. Comput. Sci. Netw. Technol. ICCSNT 2015*, no. Iccsnt, pp. 1000–1003, 2016, doi: 10.1109/ICCSNT.2015.7490905.
- [85] Μαρία. Ν. Γεωργαντά, “Ασύρματα Δίκτυα Περιοχής Σώματος, Θεσσαλονίκη,
- [86] Ι. Σαμαράς, “Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων Που Υποστηρίζουν Αρχιτεκτονικές Υπηρεσιών Ιστού,” 2013.
- [87] S. Bertoldo, L. Carosso, E. Marchetta, M. Paredes, and M. Allegretti, “Feasibility analysis of a lora-based wsn using public transport,” *Appl. Syst. Innov.*, vol. 1, no. 4, pp. 1–12, 2018, doi: 10.3390/asi1040049.
- [88] A. Camilli, C. E. Cugnasca, A. M. Saraiva, A. R. Hirakawa, and P. L. P. Corrêa, “From wireless sensors to field mapping: Anatomy of an application for precision agriculture,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 58, no. 1, pp. 25–36, 2007, doi: 10.1016/j.compag.2007.01.019.
- [89] D. D. Chaudhary, S. P. Nayse, and L. M. Waghmare, “Application of Wireless Sensor Networks for Greenhouse Parameter Control in Precision Agriculture,” *Int. J. Wirel. Mob. Networks*, vol. 3, no. 1, pp. 140–149, 2011, doi: 10.5121/ijwmn.2011.3113.
- [90] D. Y. Fong, “Wireless sensor networks,” *Internet Things Data Anal. Handb.*, pp. 197–213, 2017, doi: 10.1002/9781119173601.ch12.
- [91] T. Kalaivani, A. Allirani, and P. Priya, “A survey on Zigbee based wireless sensor networks in agriculture,” *TISC 2011 - Proc. 3rd Int. Conf. Trendz Inf. Sci. Comput.*, no. i, pp. 85–89, 2011, doi: 10.1109/TISC.2011.6169090.
- [92] M. F. Ribeiro *et al.*, “No Title 『図説 不潔の歴史』,” *Univ. Fed. do Triângulo Min.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, [Ηλεκτρονικά]. Διαθέσιμο στο: /citations?view_op=view_citation&continue=/scholar%3Fhl%3Dpt-BR%26as_sdt%3D0,5%26scilib%3D1&citilm=1&citation_for_view=wS0xi2wAAA AJ:2osOgNQ5qMEC&hl=pt-BR&oi=p.
- [93] V. Romanov, I. Galelyuka, and Y. Sarakhan, “Wireless sensor networks in agriculture,” *2015 IEEE 7th Int. Conf. Intell. Comput. Inf. Syst. ICICIS 2015*, pp. 77–80, 2016, doi: 10.1109/IntelCIS.2015.7397200.

- [94] Lucia Keleadile Ketshabetswe, Adamu Murtala Zungeru,* Mmoloki Mangwala, Joseph M. Chuma, and Boyce Sigweni, Μάϊος 2019, Προσπέλαση : 15/6/21, [Ηλεκτρονικό] Διαθέσιμο στο: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6531673/>
- [95] J. A. López Riquelme, F. Soto, J. Suardíaz, P. Sánchez, A. Iborra, and J. A. Vera, “Wireless Sensor Networks for precision horticulture in Southern Spain,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 68, no. 1, pp. 25–35, 2009, doi: 10.1016/j.compag.2009.04.006.
- [96] M. S. Maharajan, D. T. Abirami, and S. Anitha, “Energy Efficient Wireless Sensor Network For Precision Agriculture,” vol. 3, no. 1, pp. 1–5, 2018, doi: 10.2991/pecteam-18.2018.23.
- [97] U. R. Mogili and B. B. V. L. Deepak, “Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 133, pp. 502–509, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.07.063.
- [98] M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, “Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks,” *J. Clean. Prod.*, vol. 88, pp. 297–307, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.036.
- [99] S. K. Seelan, S. Laguetta, G. M. Casady, and G. A. Seielstad, “Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 88, no. 1–2, pp. 157–169, 2003, doi: 10.1016/j.rse.2003.04.007.
- [100] Σπύρος Φούντας, Θεοφάνης Γέμτος, “Γεωργία Ακριβείας”, 2015
- [101] Αρβανιτάκης Γεώργιος, “ Νέες τεχνολογίες στην προώθηση αγροτικών προϊόντων.”, Πάτρα,
- [102] Αντώνης Αγγελάκης, “Ψηφιακός μετασχηματισμός και γεωργική παραγωγή: κινητήριος παράγοντες, επιδράσεις, προκλήσεις και προϋποθέσεις υιοθέτησης νέων τεχνολογικών συστημάτων”, 2020
- [103] T. A. A. Ali, V. Choksi, and M. B. Potdar, “Precision Agriculture Monitoring System Using Green Internet of Things (G-IoT),” *Proc. 2nd Int. Conf. Trends Electron.*

Informatics, ICOEI 2018, no. Icoei, pp. 481–487, 2018, doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553866.

[104] M. Dholu and K. A. Ghodinde, “Internet of Things (IoT) for Precision Agriculture Application,” *Proc. 2nd Int. Conf. Trends Electron. Informatics, ICOEI 2018*, no. Icoei, pp. 339–342, 2018, doi: 10.1109/ICOEI.2018.8553720.

[105] V. M. Juan Núñez, R. Faruk Fonthal, and L. M. Yasmín Quezada, “Design and Implementation of WSN and IoT for Precision Agriculture in Tomato Crops,” *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conf. Proc.*, 2018, doi: 10.1109/ANDESCON.2018.8564674.

[106] R. K. Kodali, S. Yerroju, and S. Sahu, “Smart Farm Monitoring Using LoRa Enabled IoT,” *Proc. 2nd Int. Conf. Green Comput. Internet Things, ICGCIoT 2018*, pp. 391–394, 2018, doi: 10.1109/ICGCIoT.2018.8753086.

[107] I. Mat, M. R. M. Kassim, and A. N. Harun, “Precision agriculture applications using wireless moisture sensor network,” *2015 IEEE 12th Malaysia Int. Conf. Commun. MICC 2015*, no. Micc, pp. 18–23, 2016, doi: 10.1109/MICC.2015.7725400.

[108] X. Li, Y. Deng, and L. Ding, “Study on precision agriculture monitoring framework based on WSN,” *2nd Int. Conf. Anti-counterfeiting, Secur. Identification, ASID 2008*, pp. 182–185, 2008, doi: 10.1109/IWASID.2008.4688381.

[109] D. J. Mulla, “Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps,” *Biosyst. Eng.*, vol. 114, no. 4, pp. 358–371, 2013, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009.

[110] A. I. Ali, S. Z. Partal, S. Kepke, and H. P. Partal, “ZigBee and LoRa based Wireless Sensors for Smart Environment and IoT Applications,” *Proc. - 2019 IEEE 1st Glob. Power, Energy Commun. Conf. GPECOM 2019*, pp. 19–23, 2019, doi: 10.1109/GPECOM.2019.8778505.

[111] I. Amadou, B. Foubert, and N. Mitton, “LoRa in a haystack: A study of the LORA signal behavior,” *Int. Conf. Wirel. Mob. Comput. Netw. Commun.*, vol. 2019-Octob, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/WiMOB.2019.8923319.

[112] R. Arias-Carrera *et al.*, *Metamorphosis and Dynamics of Inorganic Species in the Waters of the Chone Multiple Purpose Dam, Ecuador*, vol. 893. 2019.

- [113] T. Bouguera, J. F. Diouris, J. J. Chaillout, and G. Andrieux, “Energy consumption modeling for communicating sensors using LoRa technology,” *2018 IEEE Conf. Antenna Meas. Appl. CAMA 2018*, pp. 0–3, 2018, doi: 10.1109/CAMA.2018.8530593.
- [114] O. Khutsoane, B. Isong, and A. M. Abu-Mahfouz, “IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN,” *Proc. IECON 2017 - 43rd Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, vol. 2017-Janua, pp. 6107–6112, 2017, doi: 10.1109/IECON.2017.8217061.
- [115] L. Alliance, “LoRaWAN 1.1 Regional Parameters,” *Inc, Jan*, vol. 1.1, no. Released, p. 72, 2018.
- [116] D. I. Sacaleanu, I. P. Manciu, and L. A. Perisoara, “Performance analysis of LoRa technology in wireless sensor networks,” *2019 10th IFIP Int. Conf. New Technol. Mobil. Secur. NTMS 2019 - Proc. Work.*, 2019, doi: 10.1109/NTMS.2019.8763774.
- [117] T. M. Workgroup, “A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™ What is it?,” no. November, 2015, Προσπέλαση: 19/4/21[Ηλεκτρονικά] Διαθέσιμο στο <https://lora-alliance.org/resource-hub/what-lorawantm>.