



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Πανεπιστήμιο Πατρών
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας

**Τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης δεδομένων στη
διαχείριση αγροτικής καλλιέργειας**



Πτυχιακή εργασία της φοιτήτριας
Νικολίτσα Τσαλαμαδούρου

Αμαλιάδα 2021
Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Α. Λιόπα - Τσακαλίδη

Αντί προλόγου

Η παρούσα πτυχιακή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Βοτανικής και Ζιζανιολογίας του Τμήματος Γεωπονίας της Σχολής Γεωπονικών Επιστήμων του Πανεπιστημίου Πατρών.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα της πτυχιακής μου εργασίας και Πρόεδρο του Τμήματος Δρ. Α. Λιόπα –Τσακαλίδη για την αδιάκοπη επιστημονική καθοδήγηση, την πολύπλευρη βοήθεια, τις πολύτιμες συμβουλές και το ειλικρινές ενδιαφέρον της καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Λητώ – Ασπασία Ροδίτη για τη στήριξη και συνεχή βοήθειά της.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις βαθύτατες ευχαριστίες στην οικογένειά μου που με υποστηρίζει συνεχώς και βρίσκεται πάντα στο πλευρό μου.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	5
Περίληψη.....	6
1. Εισαγωγή.....	7
1.1. Βασικές έννοιες.....	7
1.1.1. Ευφυής Γεωργία.....	7
1.1.2. Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT).....	8
1.1.3. Cellular.....	9
1.1.4. LoRa.....	10
1.1.4.1. Long Range Wide Area Network (LoRaWAN).....	11
2. Τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης (LPWA).....	12
2.1. Βασικά χαρακτηριστικά LPWA.....	12
2.2. Επισκόπηση τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης.....	12
2.2.1. LoRa.....	12
2.2.2. SigFox.....	16
2.2.3. NB-IoT.....	17
2.2.4. ZigBee.....	18
2.3. Επικρατέστερες τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης.....	19
2.3.1. Εμβέλεια και κάλυψη δικτύου.....	19
2.3.2. Κόστος.....	20
2.4. Εφαρμογές των τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης στην ευφυή γεωργία.....	21
3. Υλικό μέρος συστημάτων IoT.....	28
3.1. Εξαρτήματα.....	28
3.2. Αισθητήρες – Κόμβοι.....	30
3.3. Κόστος αισθητήρων κόμβων.....	34
4. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Ευφυή Γεωργία.....	35
4.1. Εισαγωγή.....	35
4.1.1. Πλεονεκτήματα χρήσης τεχνολογίας IoT στην Ευφυή Γεωργία.....	35

4.1.2. Χαρακτηριστικά.....	36
4.2. Περιπτώσεις IoT στη γεωργία.....	37
4.2.1. Παρακολούθηση περιβαλλοντικών συνθηκών.....	39
4.2.2. Διαχείριση καλλιεργειών.....	40
4.2.3. Αυτοματοποιημένη άρδευση.....	41
4.2.4. Αυτοματισμοί θερμοκηπίων.....	46
4.3. Προκλήσεις που παρουσιάζουν οι εφαρμογές συστημάτων IoT στις αγροτικές καλλιέργειες.....	48
4.3.1. Διαλειτουργικότητα.....	48
4.3.2. Συνδεσιμότητα.....	48
4.3.3. Όγκος δεδομένων.....	49
4.3.4. Ζώνες διαχείρισης.....	49
4.3.5. Παροχή ενέργειας.....	49
4.3.6. Τεχνικά προβλήματα και υλικές ζημιές.....	49
5. Συμπέρασμα.....	51
6. Βιβλιογραφία.....	52

Πρόλογος

Ο πρωτογενής τομέας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην οικονομική και συνεπώς στην κοινωνική ανάπτυξη όλων των χωρών. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού σε συνδυασμό με τη μείωση των αξιοποιήσιμων φυσικών πόρων και την έλλειψη σωστής διαχείρισης των καλλιεργειών οδήγησαν σε επιβλαβή ζητήματα στη φύση που απαιτούν άμεση παρέμβαση. Οι γεωργοί, έρχονται αντιμέτωποι με μία σειρά προβλημάτων που πρέπει να επιλύσουν άμεσα. Πιο συγκεκριμένα, οι απαιτήσεις του πληθυσμού πρέπει να καλύπτονται με σεβασμό στο περιβάλλον έτσι ώστε να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής αλλά και να περιοριστεί η καταπόνηση των υδάτινων και φυσικών πόρων. Η εισαγωγή της «Ευφυούς Γεωργίας» φέρνει την αλλαγή στον αγροτικό τομέα. Οι παραδοσιακές καλλιεργητικές πρακτικές περιθωριοποιούνται και αντικαθίστανται από καινοτόμες τεχνολογίες που αποτελούν δίοδο για μία βιώσιμη και βελτιστοποιημένη γεωργία. Η βελτίωση της ποιότητας και η αύξηση της αποδοτικότητας πραγματοποιείται πλέον με την εγκατάσταση τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης οι οποίες έχουν χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (LoRa, ZigBee, NB-IoT κλπ.). Η τεχνολογία που βρίσκει απήχηση σε πολλούς τομείς είναι το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων, όσον αφορά την ενσωμάτωσή του στη γεωργία, είναι μία τεχνολογία ασύρματης μετάδοσης δεδομένων που όπως θα αναλυθεί στην παρούσα πτυχιακή συνδέει συσκευές μεταξύ τους και λαμβάνει δεδομένα που είναι σχετικά με το περιβάλλον.

Περίληψη

Οι παραδοσιακές καλλιεργητικές μέθοδοι δε γίνονται με ακρίβεια. Αντιθέτως, ο κάθε αγρότης παίρνει αποφάσεις εμπειρικά αγνοώντας πολλές παραμέτρους. Για εξοικονόμηση χρόνου αλλά και χρημάτων, υπολογίζει όλα τα τμήματα με τον ίδιο τρόπο εφαρμόζοντας λιπάσματα και αρδευτικό νερό ομοιόμορφα σε όλο τον αγρό. Όμως, υπάρχουν διαφορετικές ανάγκες και είναι πιθανόν οι εφαρμοζόμενες ποσότητες να μην είναι απαραίτητες σε τέτοιες ποσότητες ή σε άλλες περιπτώσεις να μη χρειάζονται καθόλου. Τέτοιες ενέργειες μπορούν να αποβούν επιζήμιες για τις σοδειές και για το λόγο αυτό εφαρμόζονται οι τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης δεδομένων.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι να παρουσιαστούν οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην ευφυή γεωργία. Οι πλατφόρμες που βασίζονται στην τεχνολογία LoRaWan συλλέγουν δεδομένα από τους τελικούς κόμβους (End Nodes) και τα προωθούν στο διακομιστή μέσω μιας πύλης. Όσον αφορά την αρχιτεκτονική των συστημάτων IoT οι συνδεδεμένες μεταξύ τους συσκευές αλληλοεπιδρούν και μεταφέρουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε ένα διακομιστή όπου και έπειτα αποθηκεύονται στο νέφος (cloud). Από εκεί ο διαχειριστής μπορεί να ελέγχει και να διαχειρίζεται τα σχετιζόμενα με τον αγρό του.

Η εργασία οργανώνεται ως εξής. Στο Κεφάλαιο 1 εισάγονται οι βασικότερες έννοιες που αφορούν τα ασύρματα δίκτυα. Το Κεφάλαιο 2 παρουσιάζει τις τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης με χαμηλή κατανάλωση ενεργείας, ενώ στα Κεφάλαια 3 και 4 αναλύονται τα συστήματα IoT.

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

Κύριο μέλημα των αγροτών είναι η εξασφάλιση της βιωσιμότητας και της εξάλειψης του φαινομένου της λειψυδρίας. Έπειτα από αρκετά χρόνια μη ορθών διαχειρίσεων των φυσικών πόρων, έχει καταστεί σαφές πως η ύπαρξη και η υιοθέτηση νέων τεχνολογιών στον τομέα της γεωργίας είναι ζωτικής σημασίας.

Σημαντικό ρόλο για την ανάπτυξη και την εξέλιξη του τομέα διαδραματίζουν οι ασύρματες τεχνολογίες. Πιο συγκεκριμένα, είναι ικανές με ορθολογική χρήση να βελτιώσουν τη ζωή των αγροτών και να τους παρέχουν σύγχρονες και ευφυείς λύσεις, χωρίς να δαπανάται άσκοπα χρόνος και χρήμα.

1.1 Βασικές Έννοιες

Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζονται και αναλύονται βασικές έννοιες που αφορούν την παρούσα πτυχιακή εργασία.

1.1.1 Ευφυής Γεωργία

Εξαιτίας της αύξησης του πληθυσμού η γεωργία αντιμετωπίζει προκλήσεις για να μπορέσει να αντιμετωπίσει τις παγκόσμιες απαιτήσεις σε προμήθειες. Ο FAO εκτιμά ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα έχει ανέλθει στα 9,73 δισεκατομμύρια έως το 2050, οπότε και η εντατική παραγωγή τροφίμων θα είναι αναγκαία. Σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές θα επιδεινωθεί η λειψυδρία, η υποβάθμιση της γης και η αποψίλωση των δασών. Η γεωργική βιομηχανία χρησιμοποιεί ακριβές λύσεις για να ελαττώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπου είναι δυνατόν, για τη διατήρηση των πόρων.

Η ευφυής γεωργία μπορεί να διασφαλίσει με σιγουριά ότι αυτή η μελλοντική ανάγκη θα μπορέσει να καλυφθεί εξασφαλίζοντας όχι μόνο σταθερότητα αλλά και βιωσιμότητα. Η αναδυόμενη αυτή έννοια κάνει τη γεωργία πιο αποτελεσματική με τη χρήση αλγορίθμων. Θεωρείται ότι συμβάλλει στη μείωση της σπατάλης και στην αύξηση της απόδοσης.

Η ευφυής γεωργία χρησιμοποιεί λύσεις Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) και LoRa σε συνδυασμό με μεθόδους μεγάλων δεδομένων (Big Data) για την

αποτελεσματικότερη διαχείριση των φυσικών πόρων. Με αυτό τον τρόπο, συλλέγονται μεγάλοι όγκοι δεδομένων περιβάλλοντος σε τακτά χρονικά διαστήματα και σε πραγματικό χρόνο από αισθητήρες που συνδέονται μεταξύ τους και με την τελική συσκευή. Μέσω αξιολογήσεων της γονιμότητας και άλλων παραμέτρων μπορεί να βελτιωθεί η καλλιεργητική διαδικασία και να εκτιμηθεί ακριβέστερα η ποσότητα λιπάσματος και νερού που απαιτείται για την άρδευση. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον είναι ασύρματοι.

Επιπροσθέτως, ο εκσυγχρονισμός της γεωργίας, επιτρέπει στους αγρότες να μειώσουν τις εργατικές ώρες αφού το 70% του χρόνου καλλιέργειας είναι αφιερωμένο στην παρακολούθηση και κατανόηση της κατάστασης του αγρού. Με τους ασύρματους αισθητήρες η παρακολούθηση γίνεται ηλεκτρονικά από απόσταση και χωρίς διακοπές, με έγκαιρες αναφορές. Τα δεδομένα που συλλέγονται, αναλύονται αποθηκεύονται σε βάσεις για μελλοντική χρήση και έτσι η ευφυής καλλιέργεια επιτρέπει τη συσχέτιση των δεδομένων των καλλιεργειών για τον προσδιορισμό των ποικιλιών που μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στους στόχους παραγωγικότητας ενός γεωργού. Συνεπώς, η καλλιέργεια είναι οικονομικά και ποιοτικά πιο αποδοτική και η χρήση ευφυούς γεωργικής τεχνολογίας είναι φιλική προς τους αγρότες. Η ευφυής γεωργία απαιτεί ευρεία χρήση ενέργειας για την επιτέλεση των διεργασιών.

Οι λύσεις της ευφυούς γεωργίας μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες. Διακρίνονται, λοιπόν, στην παρακολούθηση απομακρυσμένου εξοπλισμού, στη χαρτογράφηση αισθητήρων βάσης και πόρων, στην παρακολούθηση του κλίματος και προβλέψεων, στην παρακολούθηση απομακρυσμένων καλλιεργειών, κτηνοτροφικών ζώων και γεω-περίφραξης, και τέλος, στην ευφυή διαχείριση υλικού και αποθήκευσής του.

1.1.2 Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT)

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) (Atzori et al., 2010) είναι η επιλογή για ευφυείς εφαρμογές διαχείρισης άρδευσης. Ο όρος διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1999 από τον Kevin Ashton της Procter & Gamble και αργότερα από το Κέντρο Auto-ID του MIT. Ο πρώτος όμως προτιμά τον όρο “Internet for Things”, δηλαδή “Διαδίκτυο για τα Πράγματα”.

Το IoT πρόκειται για μία επανάσταση στις σύγχρονες ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών. Δεν είναι μια μεμονωμένη τεχνολογία αλλά μπορεί καλύτερα να αναφερθεί ως το σύνολο τεχνολογιών, συσκευών και ατόμων που συνδέονται

ασύρματα μεταξύ τους μέσω του Διαδικτύου. Ιδιαίτερα, είναι η διασύνδεση φυσικών συσκευών, οχημάτων ή διάφορων αντικειμένων, που είναι ενσωματωμένα με ηλεκτρονικά είδη, λογισμικό, αισθητήρες, ενεργοποιητές και επικοινωνία που επιτρέπουν σε αυτά τα αντικείμενα να μιλούν και να ανταλλάσσουν δεδομένα (Atzori et al., 2010). Τέτοιου είδους πλατφόρμες διαθέτουν δικτυωμένους αισθητήρες και μηχανές για τη λήψη, μετάδοση, διαχείριση και ανάλυση δεδομένων του αγρού σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα φορτώνονται στον διακομιστή ασύρματα όπου αποθηκεύονται για τη δημιουργία ιστορικού και την ευκολότερη λήψη αποφάσεων.

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες, όπως στις μεταφορές, στην υγειονομική περίθαλψη, στα ευφυή σπίτια, στη γεωργία κ.ά. Η χρήση του στη γεωργία εκσυγχρονίζει τις παραδοσιακές καλλιεργητικές πρακτικές. Είναι δυνατόν να υπάρξει αξιοσημείωτη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας, αύξηση της απόδοσης και μείωση του κόστους.

1.1.3 Κυψελοειδής τεχνολογία (Cellular technology)

Οι κινητές τηλεπικοινωνίες εξελίσσονται ταχύτατα σήμερα αλλά η τεχνολογία τους δεν είναι πρόσφατη. Στην πραγματικότητα, πριν από 30 - 40 χρόνια έκαναν την εμφάνισή τους μεγάλου κόστους κινητές διατάξεις τηλεπικοινωνιών. Το σημαντικό βήμα έγινε στις αρχές της δεκαετίας του '80 οπότε εμφανίστηκε η αναλογική κυψελοειδής τεχνολογία. Φτάνοντας στο τέλος της χιλιετίας, η κινητή τηλεφωνία έχει μετατραπεί σε μαζικό προϊόν στην αγορά των τηλεπικοινωνιών. Το σύστημα GSM (Global System for Mobile Communications = Παγκόσμιο Σύστημα Κινητών Επικοινωνιών) που λειτουργεί σε συχνότητα 900MHz καθώς και το DCS1800 (Digital Cellular System = Ψηφιακό Κυψελοειδές Σύστημα) που λειτουργεί σε συχνότητα 1800GHz, αποτελούν τη συμβολή της Ευρώπης στην εξέλιξη των κινητών τηλεπικοινωνιών. Τα συστήματα αυτά σχεδιάστηκαν κατά τη δεκαετία του '80 και άρχισαν να εφαρμόζονται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες κατά το 1992. Το σύστημα GSM είναι ένα ψηφιακό κυψελοειδές σύστημα το οποίο κατέκτησε την παγκόσμια αγορά παρόλο που αρχικά αναπτύχθηκε αποκλειστικά για τα ευρωπαϊκά δεδομένα. Επιπλέον, το σύστημα αυτό διαθέτει πολλές προηγμένες υπηρεσίες και χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένης της συμβατότητας με το ISDN (Integrated Services Digital Network = Ψηφιακό Σύστημα Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών) καθώς και δυνατότητα περιαγωγής (roaming) παγκοσμίως σε άλλα δίκτυα GSM.

Κυψελοειδές είναι ένα δίκτυο επικοινωνίας όπου η τελευταία σύνδεση είναι ασύρματη. Το δίκτυο είναι καταναμημένο σε περιοχές, τα λεγόμενα "κελιά", καθένα από τα οποία εξυπηρετείται από τουλάχιστον έναν πομποδέκτη σταθερής θέσης. Οι κυψελοειδείς τρόποι επικοινωνίας από 2G έως 5G καλύπτουν διάφορες ανάγκες βάσει των απαιτήσεων του εύρους ζώνης. Κάθε κελί χρησιμοποιεί διαφορετικές συχνότητες για παροχή υπηρεσιών. Τέτοιου είδους δίκτυα έχουν υψηλή εμβέλεια με το μειονέκτημα ότι απαιτούν κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, διαχειρίζονται υπέρογκα δεδομένα, και ως αποτέλεσμα η σύνδεση των συσκευών σε κάθε σταθμό βάσης είναι περιορισμένη.

Τα δεδομένα από το πεδίο μεταφορτώνονται στο νέφος (cloud) μέσω Wi-Fi modem και με χρήση δικτύων κινητής τηλεφωνίας GSM. Όλα αυτά είναι μια ψηφιακή κυψελοειδής τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων. Το κυψελοειδές Διαδίκτυο των πραγμάτων (C-IoT) με υπολογιστές αιχμής (EC) είναι μια τεχνολογία που ανήκει στα κυψελοειδή συστήματα πέμπτης γενιάς (5G). Οι συσκευές C-IoT είναι μικρές και λειτουργούν με ισχύ μπαταρίας ή στο πλέγμα, ανάλογα με τον τρόπο ανάπτυξης.

Αυτά τα δίκτυα μπορούν να καλύπτουν αγροτικές περιοχές η αξιοπιστία και η διαθεσιμότητα καθίσταται ακατάλληλη, λόγω οικονομικών παραγόντων.

1.1.4 Long Range (LoRa)

Το Lora είναι το φυσικό επίπεδο πάνω στο οποίο είναι διαμορφωμένο το πρωτόκολλο LoRaWan. Πιο συγκεκριμένα είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής και χαμηλής ισχύος (LPWAN). Βασίζεται στη διαμόρφωση φάσματος chirp spread που βελτιώνει το εύρος επικοινωνίας και είναι η πρώτη εφαρμογή χαμηλού κόστους που διατίθεται στο εμπόριο.

Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση των δεδομένων ενός αισθητήρα προς το σύστημα επεξεργασίας δεδομένων. Πρόκειται για μία τεχνολογία η οποία επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλης εμβέλειας χαμηλών ποσοστών δεδομένων. Τα πλεονεκτήματα έγκεινται στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και στο μεγάλο εύρος δυνατοτήτων του συστήματος. Οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές για κάθε χώρα. Η τεχνολογία LoRa χρησιμοποιείται για τη μετάδοση αμφίδρομων πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις. Για τον έλεγχο του κόμβου της LoRa χρησιμοποιείται το Siri ή Google Assistant αντίστοιχα μέσω ενός smartphone.

Στα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων το λογισμικό IoT, ο αυτοματισμός της συνολικής κατασκευής, η επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας όπως προαναφέρθηκε, η παρακολούθηση και ο έλεγχος.

1.1.4.1 Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)

Το χαμηλής ισχύος δίκτυο ευρείας περιοχής (LPWAN) ή αλλιώς χαμηλής ισχύος ευρείας περιοχής (LPWA) είναι ένας τύπος ασύρματου δικτύου ευρείας περιοχής τηλεπικοινωνιών. Έχει χαμηλή ισχύ και κόστος και μπορεί να κατηγοριοποιηθεί στην απόκτηση και ανάλυση δεδομένων και στις τεχνολογίες αξιολόγησης. Τα LPWAN είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, έτσι ώστε να μπορούν να παρέχουν συνδεσιμότητα σε συσκευές που είναι κατανεμημένες σε μεγάλες περιοχές.

Παραδείγματα τεχνολογιών LPWAN είναι το LoRa (Long Range), το LoRaWan (Long Range Wide Area Network), το SigFox και το NB-IoT (NarrowBand-Internet of Things) τα οποία υιοθετούνται σε γεωργικές εφαρμογές με βάση το IoT. Συνεπώς, επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας, χαμηλό κόστος και μεγάλη εμβέλεια. Συνήθως η τυπική αρχιτεκτονική ενός LPWAN δεν επιδέχεται τροποποιήσεις.

Κεφάλαιο 2 - Τεχνολογίες ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης (LPWA)

2.1 Βασικά χαρακτηριστικά LPWA

Η ανάγκη για εκσυγχρονισμό της γεωργίας οδήγησε στη δημιουργία νέων τεχνολογιών στον τομέα. Η ασύρματη δικτύωση είναι βασική προϋπόθεση στα συστήματα IoT έτσι ώστε να αλλάξουν οι παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές και να έρθει μια νέα εποχή γεωργίας ακριβείας.

Στην ευφυή γεωργία, παρακολουθείται ένα ευρύ φάσμα γεωργικών παραμέτρων για τη βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών, τη μείωση του κόστους και τη βελτιστοποίηση των εισροών διεργασίας, όπως περιβαλλοντικές συνθήκες, κατάσταση ανάπτυξης, κατάσταση εδάφους, νερό άρδευσης, παράσιτα και λιπάσματα, διαχείριση ζιζανίων και παραγωγή θερμοκηπίου περιβάλλον.

Τα δίκτυα LPWA διαφέρουν από τις παραδοσιακές τεχνολογίες που επικρατούν στα συστήματα IoT. Τέτοια ασύρματα συστήματα μικρής εμβέλειας είναι τα ZigBee, Bluetooth, Z-Wave, δίκτυα WLAN και κυψελοειδή δίκτυα. Τεχνολογίες LPWA προσφέρουν συνδεσιμότητα ευρείας περιοχής για συσκευές χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Προϋποτίθεται πως οι συσκευές που χρησιμοποιούνται να μπορούν να συνδέονται στο διαδίκτυο.

2.2 Επισκόπηση τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης

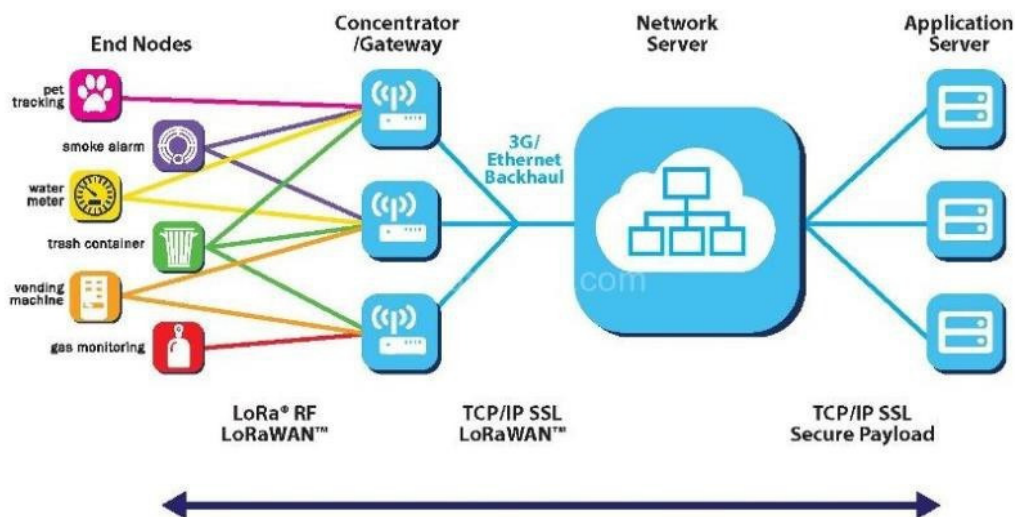
2.2.1 LoRa

Το LoRa, όπως προαναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 1, πρόκειται για μια τεχνολογία φυσικού στρώματος που χρησιμοποιεί τεχνική φάσματος spread και έχει αναπτυχθεί από τη Semtech. Βρίσκεται στο φυσικό στρώμα ή στην ασύρματη διαμόρφωση που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μεγάλου εύρους επικοινωνιακής ζεύξης. Παρέχει αμφίδρομη επικοινωνία μέσω μιας τεχνικής διάσπασης (CSS) που μεταδίδει ένα σήμα εισόδου στενής ζώνης σε ένα ευρύτερο εύρος καναλιού, ασφάλεια από άκρο σε άκρο, υπηρεσίες κινητικότητας και εντοπισμού. Το πρωτόκολλο είναι σχεδιασμένο για να

συνδέει στο Διαδίκτυο ασύρματα τα 'πράγματα' που λειτουργούν με μπαταρία σε περιφερειακά, εθνικά ή παγκόσμια δίκτυα.

Ο πομπός κάνει τα σήματα να ταυτίζονται με τη συχνότητά τους με την πάροδο του χρόνου. Δεδομένου ότι η αλλαγή συχνότητας είναι αισθητά αργή και μπορεί να εφαρμοστεί υψηλότερη ενέργεια chip, οι απομακρυσμένοι πομποδέκτες είναι δυνατόν να αποκωδικοποιήσουν ένα αρκετά αδύναμο σήμα dB υπό του πεδίου θορύβου. Το LoRa αποστέλλει μικρά πακέτα δεδομένων μεγέθους έως 50 byte και σε μια περιοχή από 3 έως 15 km. Η διαμόρφωση των προς μετάδοση πληροφοριών αλλάζει σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε εφαρμογής. Σε περίπτωση που χρησιμοποιηθεί το ίδιο SF για το ίδιο κανάλι μπορεί να προκληθούν συγκρούσεις πακέτων.

Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου LoRa αποτελείται από τελικούς κόμβους (End Nodes), πύλες (Gateways), διακομιστή δικτύου (network server) και διακομιστή εφαρμογής (application server).



Εικόνα 1 Τυπική Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRa (<https://www.rs-online.com/designspark/lorawan-network-server-integrated-or-cloud-hosted-1>)

Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRa

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας και η αρχιτεκτονική του συστήματος καθορίζεται από το LoRaWAN. Από την άλλη το LoRa ενεργοποιεί τη ζεύξη επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας. Συνδυαστικά καθορίζουν τη χωρητικότητα του δικτύου, τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας κάθε κόμβου, την ποιότητα των υπηρεσιών και την ασφάλεια των εφαρμογών του δικτύου.

Οι πύλες είναι απαραίτητες στην τεχνολογία LoRa. Σχηματίζουν μια γέφυρα μεταξύ των τελικών συσκευών (Nodes) και της εφαρμογής χρήστη (network server), όπου παραδίδονται και εμφανίζονται τα μηνύματα. Αυτές οι γέφυρες προωθούν τα πακέτα δεδομένων, αφού προσθέσουν κάποιες πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα της λήψης, στην πλατφόρμα IoT όπως TheThingsNetwork, ThingSpeak, AdafruitIO, Ubidots κ.λπ. Εκεί ο χρήστης μπορεί να λάβει τα ζητούμενα δεδομένα από το πεδίο, όπου έχει τοποθετηθεί κόμβος. Οι πύλες χρησιμοποιούν δίκτυα υψηλού εύρους ζώνης όπως είναι τα Wi-Fi, Ethernet ή Cellular για να συνδεθούν στην πλατφόρμα IoT. Ο network server του χρήστη εκτός από την προώθηση των δεδομένων, προβαίνει στην αποκωδικοποίησή τους έτσι ώστε να γίνονται κατανοητά από τον τελικό χρήστη.

Long Range

Το LoRa, το όνομα του οποίου αποτελεί συντομογραφία των λέξεων Long Range (Μεγάλη Εμβέλεια), είναι μια τεχνολογία φυσικού επιπέδου που ρυθμίζει τα σήματα στη ζώνη ISM sub – 1 GHz, χρησιμοποιώντας μια ιδιόκτητη τεχνική διασποράς φάσματος (spread spectrum). Το LoRa είναι μια ασύρματη τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης χαμηλής ισχύος η οποία είναι κατάλληλη για εφαρμογές σε μεγάλες αποστάσεις χαμηλού επιπέδου στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT). Το δίκτυο LoRa εφαρμόζει μια τεχνική προσαρμοστικής διαμόρφωσης με πολυκαναλικό, πολλαπλών διαύλων (multi-modem) πομποδέκτη στον σταθμό βάσης για να λαμβάνει έναν πολλαπλό αριθμό μηνυμάτων από τα κανάλια. Αυτή η επικοινωνία γίνεται σε δύο μέρη- LoRa, το φυσικό στρώμα και το δίκτυο ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλειας (LoRaWAN) στα ανώτερα στρώματα. Η μεγάλη εμβέλεια είναι το πλεονέκτημα της τεχνολογίας LoRa. Μία πύλη ή ένας σταθμός βάσης είναι ικανά να καλύψουν ολόκληρες πόλεις ή εκατοντάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η εμβέλεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και τις παρεμβολές κάθε τύπου. Πάραυτα, οι τεχνολογίες LoRa και LoRaWan σύνδεσμο προϋπολογισμού μεγαλύτερο από κάθε άλλη τυπική τεχνολογία επικοινωνίας. Ο σύνδεσμος αυτός, ο οποίος δίνεται σε ντεσιμπέλ (dB), είναι ο κύριος παράγοντας στον καθορισμό της εμβέλειας σε ένα τυπικό περιβάλλον.

LoRaWan

Οι όροι LoRa και LoRaWAN αναφέρονται στο ίδιο πρότυπο, όπου LoRa αναφέρεται στο ίδιο το πρότυπο –στο φυσικό επίπεδο – και το LoRaWAN στο δίκτυο το οποίο χρησιμοποιεί το παραπάνω πρότυπο.. Η IBM και η Semtech δημιούργησαν τη συμμαχία για την προώθηση της χρήσης του ασύρματου πρωτοκόλλου LoRaWAN. Το LoRa χρησιμοποιεί ένα είδος αρχιτεκτονικής αστερών, ένα κεντρικό κόμβο στον οποίο είναι συνδεδεμένοι όλοι οι άλλοι κόμβοι και δεύτερον η πύλη η οποία χρησιμεύει ως γέφυρα επικοινωνίας μεταξύ του κεντρικού κόμβου και των τελικών συσκευών(Kodali, et al, 2018). Οι πύλες είναι διακομιστές δικτύου που είναι συνδεδεμένοι χρησιμοποιώντας τυπική IP, ενώ οι συσκευές χρησιμοποιούν επικοινωνία single hop για να συνδεθούν με μία ή πολλές πύλες. Όλα τα τελικά σημεία έχουν αμφίδρομη επικοινωνία. Αυτό βοηθάει στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και στην επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας (Kodali, et al, 2018). Το LoRaWAN ορίζει το πρωτόκολλο επικοινωνίας (communication protocol) και την αρχιτεκτονική του συστήματος (system architecture), ενώ το LoRa ορίζει το φυσικό επίπεδο (physical layer). Το LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο δικτύωσης σημείου προς πολλαπλά σημεία που χρησιμοποιεί το σχήμα διαμόρφωσης LoRa του Semtech. Δεν πρόκειται μόνο για τα ραδιοκύματα. Πρόκειται για το πώς τα ραδιοκύματα επικοινωνούν με τις πύλες LoRaWAN για να κάνουν πράγματα όπως κρυπτογράφηση και ταυτοποίηση. Περιλαμβάνει επίσης ένα στοιχείο σύννεφο στο οποίο συνδέονται πολλαπλές πύλες. Το LoRaWAN σπάνια χρησιμοποιείται για εφαρμογές βιομηχανικού (ιδιωτικού δικτύου) λόγω των περιορισμών του. Τα δίκτυα LoRaWAN συνήθως τοποθετούνται σε μια τοπολογία αστεριών στην οποία οι πύλες αναμεταδίδουν μηνύματα μεταξύ τελικών συσκευών και του κεντρικού διακομιστή δικτύου. Ο διακομιστής δικτύου δρομολογεί τα πακέτα από κάθε συσκευή του δικτύου στο σχετικό διακομιστή εφαρμογών.

Για την ασφάλεια των ραδιοφωνικών μεταδόσεων, το πρωτόκολλο LoRaWAN βασίζεται σε συμμετρική κρυπτογραφία χρησιμοποιώντας πλήκτρα περιόδου σύνδεσης που προέρχονται από τα βασικά κλειδιά της συσκευής.

Ένα δίκτυο LoRaWAN αποτελείται από:

Τελική συσκευή (End-Device, ED): α) επικοινωνεί με έναν ή περισσότερους αισθητήρες (sensors) προκειμένου να συλλέξουν τα πρωτογενή δεδομένα, β) μορφοποιεί τα δεδομένα σε ένα πακέτο δεδομένων LoRa/LoRaWAN με βάση το πρότυπο της LoRa Alliance, γ) αποστέλλει το μορφοποιημένο πακέτο «τυφλά» μέσω του κοινού ασύρματου μέσου.

Πύλη (GateWay, GW): Ονομάζεται επίσης μόντεμ (modem) ή σημείο πρόσβασης (access point). Χρησιμοποιείται για την προώθηση μηνυμάτων από και προς μια ED και το Διακομιστή Δικτύου (Network Server, NS).

Διακομιστή Δικτύου (Network Server, NS): Είναι το πιο ευφύες μέρος του δικτύου LoRaWAN.

Διακομιστή εφαρμογών (Application Server, AS): Αντιπροσωπεύει την εφαρμογή για την ανάλυση των μηνυμάτων που ελήφθησαν από μια ED.

2.2.2 SigFox

Το SigFox ιδρύθηκε το 2010 στη Γαλλία από τους Ludovic Le Moan και Christophe Fourtet. Πρόκειται για μία ασύρματη σύνδεση, όπου δεν υπάρχει επιβάρυνση σηματοδότησης, ένα συμπαγές και βελτιστοποιημένο πρωτόκολλο στο οποίο τα αντικείμενα δεν είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο.

Το δίκτυο βασίζεται σε μια τοπολογία αστέρι και αποτελείται από συσκευές μετάδοσης, σταθμούς βάσης πυλών και Sigfox back-end. Η κάλυψη δικτύου αναπτύσσεται ανά χώρα από έναν επιλεγμένο συνεργάτη που ονομάζεται Χειριστής Δικτύου Sigfox (SNO). Οι πύλες λήψης που χειρίζονται από τον SNO συνήθως βρίσκονται τοποθετημένοι σε ασύρματους πύργους. Αυτές οι πύλες επικοινωνούν με την πλατφόρμα Cloud SigFox που τη διαχειρίζεται η ίδια η εταιρεία SIGFOX. Για βέλτιστη λειτουργία το σύστημα θα πρέπει να εξασφαλίζει κάλυψη από τον SNO, συσκευή / αισθητήρα και μία έγκυρη συνδρομή συσκευής.



Εικόνα 2 Αρχιτεκτονική SigFox [Dash, A., Pal, S., & Hegde, C. (2019). Ransomware Auto-Detection in IoT Devices using Machine Learning]

Η τεχνολογία επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μέσω Βιομηχανικής, Επιστημονικής και Ιατρικής ραδιοφωνικής ζώνης. Το SIGFOX χρησιμοποιεί επικοινωνίες Ultra Narrow Band που κωδικοποιούνται από το DBPSK (διαφορική δυαδική φάση Shift-Keying) και χαρακτηρίζεται για την ανταλλαγή σύντομων μηνυμάτων. Θεωρείται κατάλληλη επιλογή για ένα ευρύ φάσμα γεωργικών έργων, δεδομένου ότι δεν απαιτούνται πρόσθετες εγκαταστάσεις για την ανάπτυξη και επιτυγχάνει υψηλή κάλυψη σε πολλές χώρες της ΕΕ.

2.2.3 NB-IoT

Το NB-IoT είναι μία τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης, για δίκτυα μεγάλων αποστάσεων και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Έχει σχεδιαστεί από την 3GPP Generation Partnership Project και χρησιμοποιεί τις ίδιες συχνότητες με το LTE (Long Term Evolution). Το NB-IoT παρέχει υψηλότερη ταχύτητα μετάδοσης σε σχέση με τις άλλες επιλογές LPWAN, αν και περιλαμβάνει κόστος υπηρεσίας ανά χρήση και συνεπώς, το εύρος μειώνεται. Χρησιμοποιεί ζώνες συχνοτήτων με άδεια και διέπεται από μεγάλες εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Επιπλέον, η διαθεσιμότητα συσκευών εξακολουθεί να είναι περιορισμένη.

Ένα NB-IoT υποστηρίζει αμφίδρομη επικοινωνία σε ένα αξιόπιστο και ασφαλές περιβάλλον χρησιμοποιώντας μια κυψελοειδή σύνδεση με στενό εύρος ζώνης. Τα βασικά στοιχεία του NB-IoT είναι η λειτουργία χαμηλής ισχύος και η μεγάλη περιοχή

κάλυψης. Το NB-IoT υποστηρίζει τη λειτουργία στενής ζώνης με εύρος ζώνης 180 kHz τόσο για την κατερχόμενη όσο και για την άνω ζεύξη. Η διαμόρφωσή του είναι η QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), ενώ παρέχει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 200Kbps. Αντιμετωπίζει δυσκολία στο να υποστηρίξει επεκτάσιμο ρυθμό δεδομένων και καθυστερεί. Η κινητικότητα σε αυτό το πλαίσιο αυξάνει περαιτέρω την πολυπλοκότητα. Ένα NB-IoT διαθέτει αυτόνομη λειτουργία με την υποστήριξη του φορέα GSM, λειτουργία ζώνης προστασίας (χρησιμοποιώντας τη ζώνη προστασίας LTE για μετάδοση) και λειτουργία εντός ζώνης (χρήση μπλοκ πόρων εντός ενός κανονικού φορέα LTE). Τα NB-IoTs είναι κατάλληλα για ευφυή παρακολούθηση, ευφυείς πόλεις, αυτοματισμούς, παρακολούθηση αλλά και στον τομέα της γεωργίας. Τα συστήματα NB χρησιμοποιούν πολύ χαμηλά ποσοστά κώδικα και μπορούν να παρέχουν κάλυψη ακόμη και στα -13 dB SINR. Διακρίνεται για τη μεγάλη διάρκεια μπαταρίας του σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος δίνοντας έμφαση στην κάλυψη εσωτερικών δικτύων.

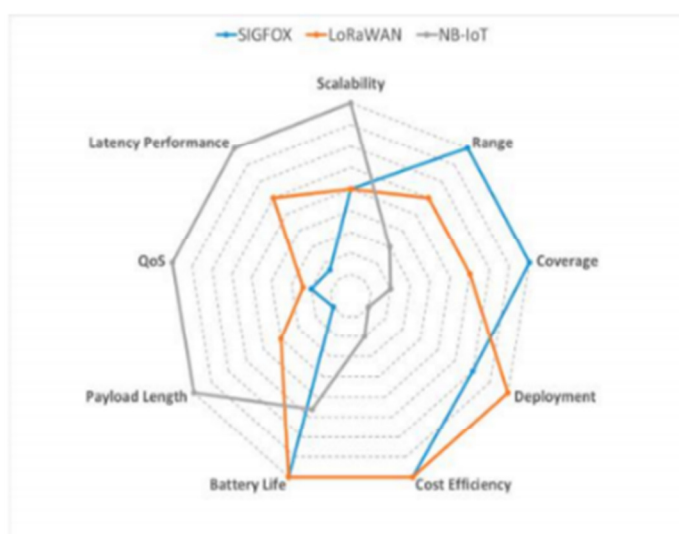


Figure 4. Qualitative comparison between SIGFOX, LORAWAN and NB-IoT (Source: Own elaboration).

2.2.4 ZigBee

Το ZigBee είναι μια τεχνολογία της ZigBee Alliance που επιτρέπει στις συσκευές IoT να εισέρχονται πιο γρήγορα στην αγορά και να έχουν πρόσβαση στην πρώτη γραμμή της βιομηχανίας. Βασίζεται στο φυσικό επίπεδο ελέγχου και πρόσβασης πολυμέσων

που ορίζεται από το πρότυπο IEEE 802.15.4 για ασύρματα δίκτυα χαμηλού ρυθμού (WPAN). Πρόκειται για ένα διεθνές πρότυπο που στηρίζεται σε μια ποικιλία από πρωτόκολλα, τα οποία χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία δικτύων με χαμηλή ισχύ. Βρίσκει εφαρμογή σε αυτοματισμούς κυρίως σε ευφυή σπίτια, στον τομέα της ιατρικής ή στη γεωργία όπου απαιτείται αυτοματισμός.

Είναι ένα δίκτυο χαμηλής ταχύτητας δεδομένων και χαμηλής ισχύος. Η τεχνολογία είναι αρκετά απλούστερη συγκριτικά με άλλα ασύρματα δίκτυα όπως το Bluetooth ή το Wi-Fi. Η εμβέλειά του μπορεί να φθάσει από 10 έως 100 μέτρα σε απόσταση ανάλογα με την ενέργεια και την ομοιομορφία του περιβάλλοντος. Ο ρυθμός μετάδοσής του ορίζεται στα 250 kbit/s για τα δεδομένα που λαμβάνονται μέσω αισθητήρων και της συσκευής εισόδου.

Η προδιαγραφή περιλαμβάνει το επίπεδο του δικτύου, το επίπεδο εφαρμογής, τα αντικείμενα συσκευής ZigBee (ZDO) και τα αντικείμενα εφαρμογής που ορίζει ο κάθε κατασκευαστής. Τα αντικείμενα συσκευών ZigBee είναι σε θέση να διαχειριστούν αιτήματα για συμμετοχή σε ένα δίκτυο και την εξασφάλιση της ασφάλειας των συσκευών.

2.3 Επικρατέστερες τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης

Υπάρχει μία πληθώρα τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και με ευρεία κάλυψη LPWAN. Οι επικρατέστερες εκ των οποίων είναι τα SigFox, Lora, NB-IoT, ZigBee, LTE-M ή CAT-M1 Weightless SIG.

2.3.1 Εμβέλεια

Οι τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης LPWA έχουν διάφορα εύρη και εμβέλεια. Πιο συγκεκριμένα, το SigFox διακρίνεται για το μεγάλο του εύρος και όπως έχει διαπιστωθεί μία ολόκληρη περιοχή μπορεί να καλυφθεί από έναν και μόνο σταθμό βάσης με εύρος τουλάχιστον 40km. Για παράδειγμα, στο Βέλγιο, μπορεί ολόκληρη η χώρα να καλυφθεί από ανάπτυξη ενός δικτύου SigFox με επτά σταθμούς βάσης [Πλιάτσος, Α., 2018].

Από την άλλη, το LoRa διαθέτει κάλυψη εύρους έως και 15 χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές γεγονός που συμβάλλει στη βελτίωση της αποδοτικότητας του δικτύου. Το πρότυπο LoRa/LoRaWAN παρέχει επαρκές εύρος κάλυψης για της ανάγκες συστημάτων IoT στα πλαίσια των αγροτικών εκμεταλλεύσεων, δίνει τη δυνατότητα για υλοποίηση του σε ανομοιογενή συστήματα και προσφέρει ένα είδος έμμεσης συμβατότητας.

Η τεχνολογία LoRa κερδίζει τα τελευταία χρόνια συνεχώς σε δημοφιλία, γιατί είναι πολύ ικανή να εκτείνεται σε μεγάλες αποστάσεις, γεγονός που καθιστά την τεχνολογία αυτή μια πολύ καλή επιλογή για απομονωμένες ή απομακρυσμένες περιοχές χωρίς επαρκή κάλυψη σήματος.

Συχνότητες LoRa—Low Power Wide Area

Network (LoRaWAN) Europe: 870 MHz, 863 MHz, 434 MHz, 433 MHz

India: 867 MHz, 865 MHz

Region 2—America, Greenland, Eastern Pacific Islands: 928 MHz, 902 MHz

Australia, New Zealand: 928 MHz, 915 MHz

China: 510 MHz, 470 MHz, 787 MHz, 779 MHz

Hong Kong: 925 MHz, 920 MHz

Taiwan: 928 MHz, 922 MHz

South Korea: 923 MHz, 920 MHz

Japan: 928 MHz, 920 MHz

Singapore, Thailand, Vietnam: 925 MHz, 920 MHz

Brunei, Cambodia, Indonesia, Laos: 925 MHz, 923 MHz

Max. Data Rate: 0.3 to 50 kbps

2.3.2 Κόστος

Παρόλο που το NB-IoT δεν καλύπτει μεγάλες αποστάσεις, βρίσκεται στην κορυφή ως την πιο ακριβή λύση. Αντιθέτως, τα SigFox και τα LoRa είναι αρκετά πιο οικονομικά.

	Spectrum cost	Deployment cost	End-device cost
Sigfox	Free	>4000€/base station	<2€
LoRa	Free	>100€/gateway >1000€/base station	3–5€
NB-IoT	>500 M€ /MHz	>15 000€/base station	>20€

Εικόνα 3 Κόστος διάφορων παραμέτρων LPWA [Πλιάτσιος, Α. (2018)]

2.4 Εφαρμογές των τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και ευρείας κάλυψης στην ευφυή γεωργία

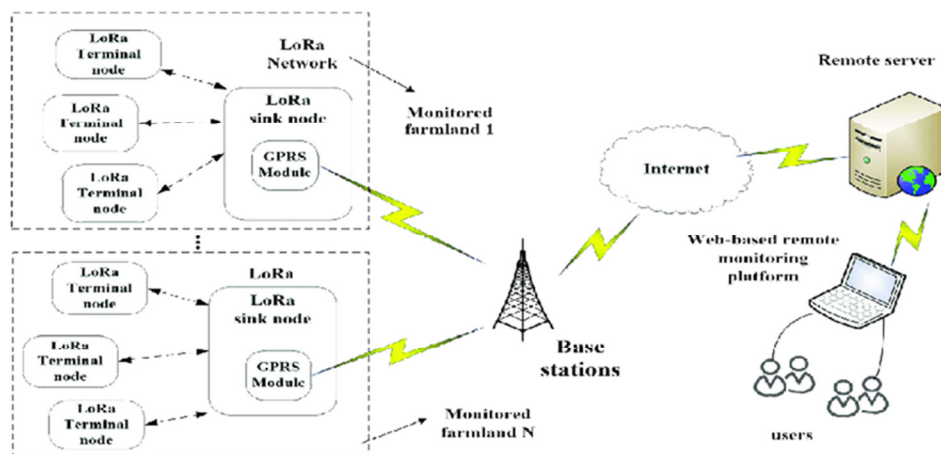
Ανέκαθεν ο τομέας της γεωργίας εξελισσόταν για να μπορεί να συμβαδίζει με τις απαιτήσεις που προέκυπταν. Η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών, όπως των LPWA, ώθησε τον τομέα να προχωρήσει ένα βήμα μπροστά και να εκσυγχρονιστεί. Για λόγους ευχρηστίας και διευκόλυνσης των αγροτών είναι πλέον απαραίτητος ο έλεγχος όλων των άμεσα εμπλεκόμενων μέσων και του εξοπλισμού του αγρού. Με τους αισθητήρες και τα υπολογιστικά λογισμικά που αποστέλλουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, είναι δυνατόν να υπάρξει σημαντική μείωση των δαπανών και αύξηση των καλλιεργητικών αποδόσεων. Είναι αναγκαία όπου ζητείται η ύπαρξη μεγάλης κάλυψης και χαμηλής κατανάλωσης χωρίς όμως να χρειάζεται η γρήγορη μεταφορά των δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα, μετρούνται η θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα, τα διαθέσιμα θρεπτικά συστατικά του εδάφους έτσι ώστε να υπολογίζεται η λίπανση με απόλυτη ακρίβεια και άλλα.

Πολλές ερευνητικές ομάδες εργάζονται για την ανάπτυξη συσκευών δοκιμής ευφυούς γεωργίας που έχουν ενεργοποιηθεί από το LoRaWAN, για να βελτιώσουν την κατανόηση των επιπτώσεων των παρουσιαζόμενων περιορισμών, χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα δοκιμών και να προχωρήσουν στην κατασκευή προγνωστικών μοντέλων και προσαρμοστικών αλγορίθμων διαχείρισης δικτύου για ευφυή καλλιέργεια από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

Το LoRa έχει αναπτυχθεί και υιοθετηθεί από πολλές εφαρμογές IoT με χαμηλή κατανάλωση για δίκτυα ευρείας περιοχής. Στο άμεσο μέλλον οι νέες ασύρματες τεχνολογίες, όπως οι LoRaWAN θα δοκιμαστούν διεξοδικά και να αναπτυχθούν, ώστε να επιτευχθούν βήματα προς την κατεύθυνση της ύπαρξης προτύπων για συνδεσιμότητα μεταξύ των συσκευών IoT. Το LoRaWAN βρίσκεται στο προσκήνιο τα τελευταία χρόνια, λόγω της καταλληλότητάς του να είναι το πρότυπο πρωτόκολλο επικοινωνίας για τις εφαρμογές IoT. Για την ευφυή γεωργία με περιορισμό ισχύος και απαίτηση σύνδεσης μεγάλης εμβέλειας το LoRa είναι κατάλληλο πρωτόκολλο σε περιβάλλον για εφαρμογή IoT.

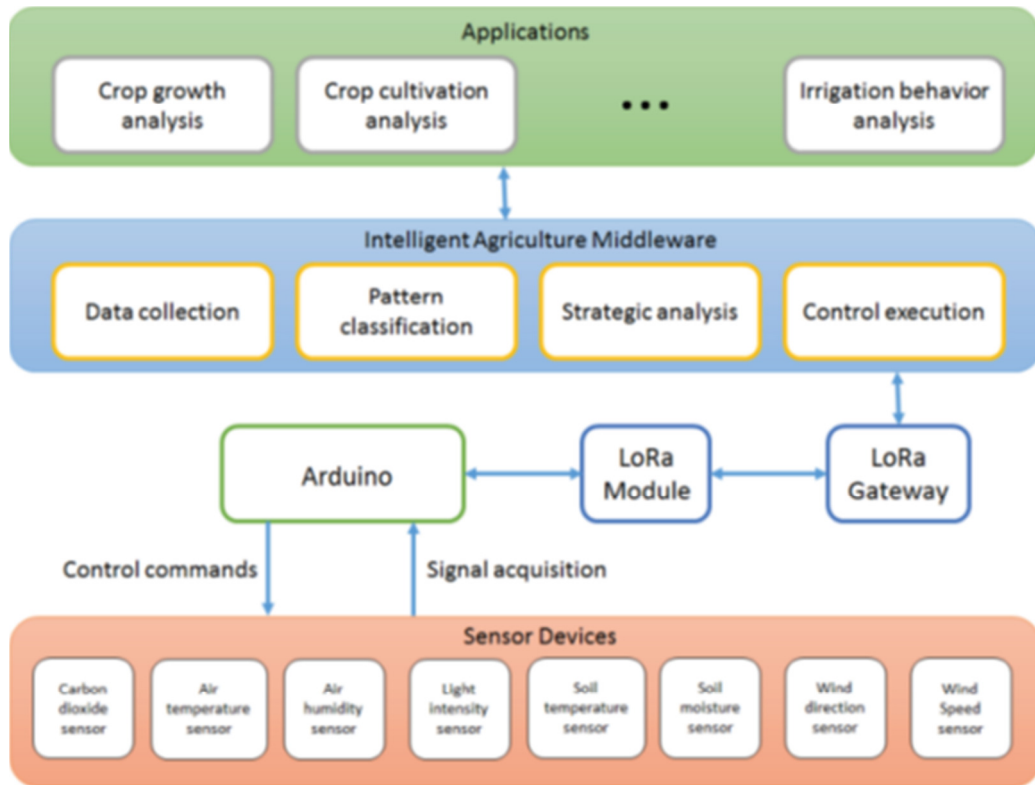
Για να οικοδομηθεί μια μεγάλης κλίμακας γεωργία IoT, χρειάζεται να σχεδιασθεί ένα δίκτυο αισθητήρων με βάση το LoRa. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταδίδονται σε απομακρυσμένο διακομιστή για αποθήκευση μέσω GPRS. Τα δεδομένα περιβάλλοντος εμφανίζονται στο πρόγραμμα περιήγησης για χρήση από τους χρήστες. Επειδή το περιβάλλον γεωργικής παραγωγής είναι περίπλοκο, τα δεδομένα που συλλέγονται επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον θόρυβο και δεν μπορούν να αναλυθούν άμεσα. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, η μέθοδος ανάλυσης χρονοσειρών χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση των ακατέργαστων δεδομένων και λαμβάνεται ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο μπορεί να γεμίσει ή να αντικαταστήσει τα ελλιπή δεδομένα, τα μη φυσιολογικά δεδομένα και ούτω καθεξής, και μπορεί να προβλέψει αποτελεσματικά τα μελλοντικά δεδομένα. Παρέχει μια καλή πηγή δεδομένων για την ανάλυση των επόμενων δεδομένων. Το πείραμα δείχνει ότι το σύστημα μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις σχεδίασης και μπορεί να λειτουργήσει αποτελεσματικά και σταθερά (Jin, et al 2018).



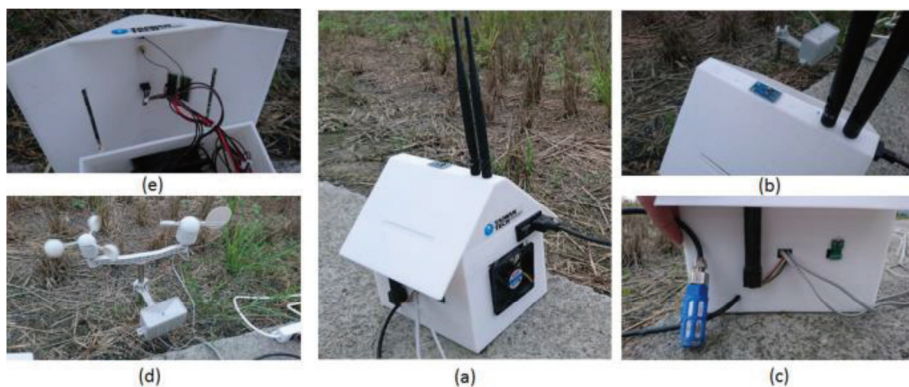
Structure of the system

Σε αυτή την εργασία, οι Jin, et al 2018 σχεδίασαν ένα σύστημα αγροτικών IoT με βάση το LoRa το οποίο μπορεί να συλλέγει τα δεδομένα σε μια μεγάλη έκταση γεωργικής γης όλη την ημέρα χωρίς διακοπή. Με την τεχνολογία LoRa το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει λιγότερους κόμβους αισθητήρων για να κατασκευάσει ένα ευρύ φάσμα ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τα συλλεγμένα δεδομένα θερμοκρασίας αναλύονται σε χρονολογικές σειρές. Προτείνεται ένα αποτελεσματικό μοντέλο πρόβλεψης θερμοκρασίας. Το μοντέλο μπορεί να προβλέψει την αλλαγή των

δεδομένων θερμοκρασίας και να παράσχει μια αποτελεσματική μέθοδο για μη φυσιολογική επεξεργασία δεδομένων. Με την ανάπτυξη του αγροτικού κόσμου και την προώθηση των εθνικών πολιτικών, το σύστημα θα έχει καλή προοπτική εφαρμογής.



Intelligent Agriculture Service Platform



Sensor House

Οι Ma και Chen (2018) πρότειναν μια ευφυή πλατφόρμα γεωργικών υπηρεσιών που βασίζεται σε ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και τεχνολογία επικοινωνίας LoRa. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν το LoRa ως διασύνδεση μετάδοσης δικτύου για την επίλυση του προβλήματος της αποτυχίας της επικοινωνίας και την εξοικονόμηση

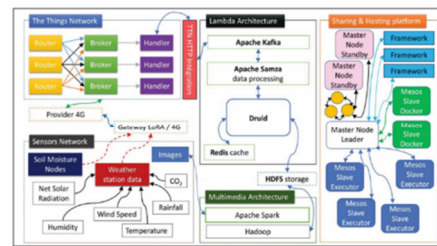
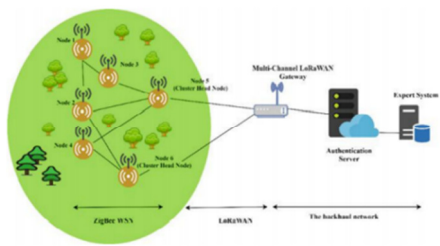
ενέργειας. Δημιουργήθηκε μια πλατφόρμα υπηρεσιών γεωργικών ευφυών υπηρεσιών για τη στήριξη του περιβαλλοντικού ελέγχου και τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της γεωργικής διαχείρισης.

Οι Ma και Chen (2018) πραγματοποίησαν πειραματικές μετρήσεις για τον προσδιορισμό της ακρίβειας των αισθητήρων, την επιλογή αισθητήρων και την ανάπτυξη μιας πλατφόρμας ανίχνευσης και επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής ισχύος. Εγκαταστάθηκε ένα στοιχείο πολλαπλών αισθητήρων και ένα ολοκληρωμένο δίκτυο επικοινωνιών. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και η τεχνολογία επικοινωνίας δικτύου χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη της συλλογής δεδομένων και τον εξοπλισμό ευφυών γεωργικών δεδομένων.

Οι AlQammaz, et al (2018) στο άρθρο *ένα πλαίσιο για τεχνητή νοημοσύνη υποβοηθούμενη ευφυή γεωργία χρησιμοποιώντας LoRaWAN Wireless Sensor Networks* περιγράφουν έναν αρχικό σχεδιασμό για ευφυή γεωργία. Το πλαίσιο παρουσιάζει μια ολιστική άποψη της ευφυούς γεωργίας, η οποία εξετάζει την ανίχνευση δεδομένων και τη συλλογή χρησιμοποιώντας ένα WSN, τη μετάδοση δεδομένων χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα ZigBee και LoRaWAN, και τέλος, την επεξεργασία δεδομένων και τη λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας συστήματα εμπειρογνομόνων AI-Fuzzy Logic που εκτελούνται πιθανώς μέσω ενός δικτύου cloud υποδομή.

Το άρθρο παρουσιάζει προκαταρκτικά αποτελέσματα για την ασύρματη τεχνολογία LoRa για πρακτικά σενάρια που μοιάζουν με αυτά που χρησιμοποιούνται στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πιο κατάλληλο πρωτόκολλο LPWAN, το οποίο χρησιμοποιείται από αισθητήρες και ενεργοποιητές για ευφυή ανίχνευση σε συστήματα και βιομηχανικές εφαρμογές με βάση την υποδομή, είναι το LoRa. Το LoRa αναφέρεται στο επίπεδο Media Access Control (MAC) και στο φυσικό επίπεδο. Συγκεκριμένα, το LoRaWAN χρησιμοποιείται στο στρώμα MAC ενώ ο μηχανισμός CSS χρησιμοποιείται στο φυσικό στρώμα. Το LoRa επιτυγχάνει την αντιστάθμιση μεταξύ της κατανάλωσης ισχύος και του εύρους μετάδοσης. Το πλαίσιο αποτελείται από μια ομάδα αισθητήρων περιορισμένης ισχύος που δημιουργούν WSN, συνεργάζονται μεταξύ τους και, συνεπώς, συλλέγουν βασικά δεδομένα χρησιμοποιώντας ένα σύνολο αισθητήρων. Οι κόμβοι αισθητήρων ομαδοποιούνται σε διαφορετικά συμπλέγματα, όπου κάθε σύμπλεγμα έχει έναν κύριο κόμβο που ονομάζεται Cluster Head (CH), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη συλλογή των δεδομένων που έχουν ληφθεί από τους κόμβους αισθητήρων χρησιμοποιώντας το

πρωτόκολλο ZigBee και, στη συνέχεια, μεταδίδοντας τα ληφθέντα δεδομένα στο απομακρυσμένο κέντρο, για περαιτέρω επεξεργασία, ανάλυση και λήψη αποφάσεων χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LoRaWAN. Στο άρθρο των AIQammar et al (2018) προτείνεται ένα πλαίσιο για την παροχή ενός ευφυούς συστήματος άρδευσης, το οποίο θα χρησιμοποιεί τις ενημερωμένες τεχνολογίες και αλγόριθμους όπως ευφυής αισθητήρες και WSN, LoRaWAN για απομακρυσμένη παρακολούθηση μεγάλων αποστάσεων, η υποδομή cloud για ανάλυση δεδομένων και επεξεργασία τις τελευταίες προσεγγίσεις Fuzzy Logic και αλγόριθμους AI-ML. Αυτό που κάνει το προτεινόμενο πλαίσιο των AIQammar et al (2018) μοναδικό είναι η ολιστική του άποψη για όλα τα ζωτικά στοιχεία που πρέπει να ενσωματωθούν πλήρως και να βελτιστοποιηθούν για να εξασφαλιστεί αποτελεσματική και βελτιωμένη απόδοση. Επιπλέον, θα επισημανθούν όλες οι πρακτικές και εφαρμοσμένες προκλήσεις και θα συζητηθούν πιθανές λύσεις. Η αρχιτεκτονική δικτύου ευφύων γεωργικών πλαισίων απεικονίζει τον αρχικό σχεδιασμό για το ορατό ευφύες σύστημα άρδευσης, το οποίο μπορεί να βασίζεται είτε στους πρόσφατους αλγόριθμους και τεχνικές AI-ML είτε / και στην Fuzzy Logic.



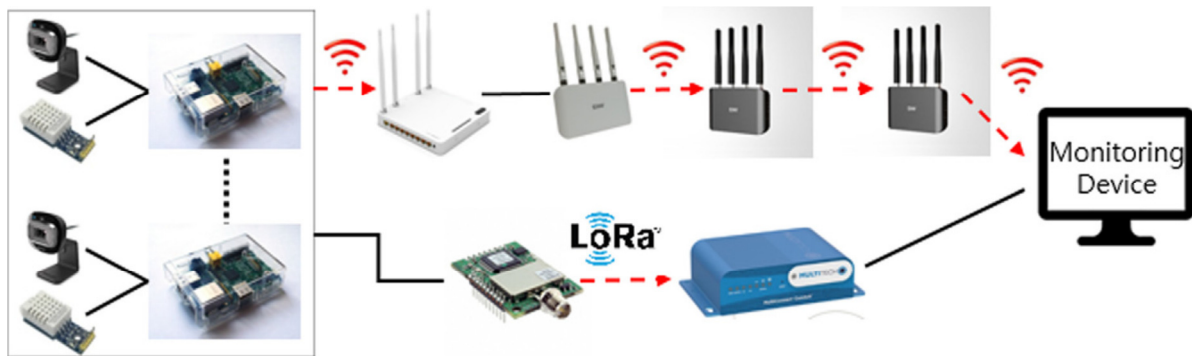
□ αρχιτεκτονική δικτύου ευφύων γεωργικών Προτεινόμενο σύστημα και η
πλαισίων αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του δικτύου αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, το δίκτυο ευρείας περιοχής μεγάλων αποστάσεων και το δίκτυο Backhaul. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας LongRange Wide Area Network (LoRaWAN) βασισμένο στο Chirp Spread Spectrum (CSS) παρέχει μεγάλη εμβέλεια και καλή αντοχή έναντι παρεμβολών. Στο CCS, κάθε chirp εκτείνεται σε μια γραμμική σάρωση συχνότητας ανάλογη με το εύρος ζώνης σήματος (BW). Κάθε chirp έχει έναν αριθμό συμβόλων που ισούται με 2^{SF} , όπου το SF είναι ο Παράγοντας Διάδοσης που μπορεί να αλλάξει σύμφωνα με την απαίτηση σήματος BW. Η χρήση της διαμόρφωσης CSS επιτρέπει την αλλαγή τεσσάρων κύριων παραμέτρων. Δηλαδή, η ισχύς μετάδοσης (TP), το εύρος ζώνης, ο συντελεστής διασποράς και ο ρυθμός κώδικα (CR). Η αλλαγή αυτών των παραμέτρων οδηγεί σε

μεγάλο αριθμό πιθανών συνδυασμών που μπορούν να ρυθμιστούν ώστε να ταιριάζουν με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Τα τυπικά δίκτυα LoRa χρησιμοποιούν εύρος ζώνης 125 kHz, 250 kHz ή 500 kHz.

Τα δεδομένα καιρού λαμβάνονται από έναν μικρό καιρικό σταθμό που χρησιμοποιεί ένα σύστημα μετάδοσης LoRa. Αυτό το πρωτόκολλο χαμηλού κόστους έχει επιλεγεί για την ευκολία εγκατάστασής του, την ικανότητά του να αντιστέκεται στις παρεμβολές στην τεχνολογία φάσματος εξάπλωσης και στην περιοχή που μπορεί να καλυφθεί από μία μόνο πύλη. Ο σταθμός μικρο καιρικών συνθηκών βασίζεται σε έναν αισθητήρα καιρού (Argent Data Systems) που περιέχει ένα ανεμόμετρο, μια κατεύθυνση πτερυγίων και ένα βηματόμετρο. Ο μετεωρολογικός σταθμός περιέχει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας / υγρασίας AM2315 (Aosong) με σφάλμα 0,1 ° C για τη θερμοκρασία και 2% για τη σχετική υγρασία. Η καθαρή ηλιακή ακτινοβολία μετράται από ένα ψηφιακό καθαρό ραδιόμετρο SN-500, Apogee Instruments. Όλοι οι αισθητήρες συνδέονται σε ένα LoPy που συλλέγει δεδομένα και τα στέλνει στην πύλη LoRa / 4G. Το LoRaWan είναι ιδιαίτερα προσαρμοσμένο για τη μετάδοση δεδομένων σε σκληρές συνθήκες. Στο τέλος, η σύγκριση της πρώτης προσέγγισης που πραγματοποιήθηκε με το CropWat επέτρεψε τον υπολογισμό της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής και την επαλήθευση ότι δεν ξεπεράστηκαν ποτέ.

Οι Ramli et al (2020) στην έρευνα τους παρουσιάζουν ένα προσαρμοστικό μηχανισμό δικτύου για ένα ευφύες σύστημα αγροκτήματος χρησιμοποιώντας τα πρωτόκολλα LoRaWAN και IEEE 802.11ac. Γενικά, το σύστημα διαδικτύου πραγμάτων (IoT) για τη γεωργική εφαρμογή χρησιμοποιείται σε ένα περιβάλλον όπου μπορεί να προκύψουν σημαντικές παρεμβολές. Αυτές οι παρεμβολές μπορούν να διαταράξουν την απόδοση δικτύου του συστήματος. Σε αυτό το έγγραφο, ένας μηχανισμός προσαρμοστικού δικτύου σχεδιάστηκε για να βελτιώσει την απόδοση του δικτύου του συστήματος, προκειμένου να επιτευχθεί ένα πιο αξιόπιστο ευφύες σύστημα εκμετάλλευσης.



The topology of the proposed system.

Συγκεκριμένα, ο προτεινόμενος μηχανισμός προσαρμοστικού δικτύου εφαρμόζεται στο επίπεδο εφαρμογής. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να προσαρμόζει ένα πρωτόκολλο που βασίζεται στην κατάσταση του δικτύου. Για παράδειγμα, το IEEE 802.11ac είναι κατάλληλο για τη μετάδοση δεδομένων που απαιτούν υψηλό ρυθμό δεδομένων όπως εικόνα ή βίντεο. Σε αντίθεση, το πρωτόκολλο LoRaWAN είναι κατάλληλο για την αποστολή δεδομένων που έχουν μόνο μικρά πακέτα δεδομένων όπως δεδομένα ανάγνωσης αισθητήρων. Ένας προσαρμοστικός μηχανισμός, ο οποίος συνδυάζει τα πλεονεκτήματα και των δύο πρωτοκόλλων οδηγεί το σύστημα στην επίτευξη αξιοπιστίας κατά την εκτέλεση της εργασίας παρακολούθησης. Το σύστημα έχει αξιολογηθεί για το πραγματικό σενάριο ανάπτυξης. Το αποτέλεσμα καταδεικνύει ότι το προτεινόμενο σύστημα φέρνει την αξιοπιστία ως προς το μέσο λανθάνοντα χρόνο και τον συνολικό αριθμό δεδομένων των αισθητήρων.

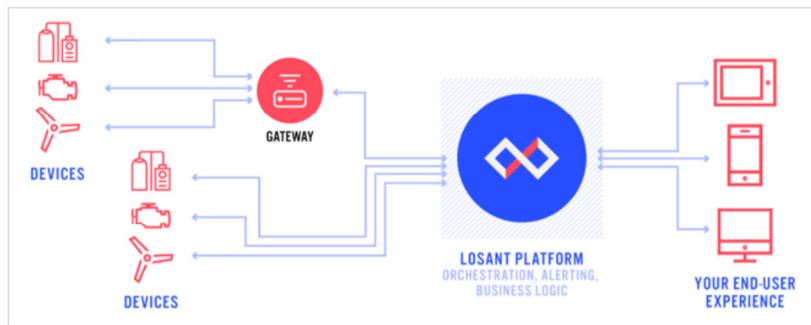
Κεφάλαιο 3

3. Υλικό μέρος συστημάτων IoT

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των συσκευών και των αισθητήρων που απαρτίζουν ένα τυπικό σύστημα IoT.

3.1 Εξαρτήματα

Μία τυπική αρχιτεκτονική ενός συστήματος IoT αποτελείται από τέσσερα βασικά εξαρτήματα. Αρχικά, υπάρχουν οι συσκευές, η πύλη, η πλατφόρμα / διακομιστής και τέλος μία εφαρμογή. Σε εξαιρετικές περιπτώσεις είναι δυνατό να υπάρξουν επιπρόσθετα επίπεδα, όμως αυτά τα τέσσερα αποτελούν θεμέλιο σε κάθε λύση IoT.



Οι συσκευές μπορεί να είναι όλων των ειδών αλλά κατηγοριοποιούνται στους αισθητήρες, τις πύλες και τις υπηρεσίες του σύννεφου – Cloud. Όλες οι κατηγορίες μαζί λειτουργούν ως μία αλυσίδα που συντονίζει τα δεδομένα. Οι αισθητήρες αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγουν στις ευφυείς συσκευές, οι πύλες παρέχουν ανοδική (Uplink) ή καθοδική (Downlink) σύνδεση με το Διαδίκτυο και το Cloud αποθηκεύει και επεξεργάζεται τα δεδομένα.

Πύλες (Gateways)

Μία πύλη IoT είναι ο κεντρικός κόμβος για τους αισθητήρες που συλλέγουν τα δεδομένα τους και μπορούν να βρεθούν σε πολλές μορφές. Είναι συνδεδεμένη απευθείας με αισθητήρες που παρέχουν τη διαδρομή για τη μετάβαση των δεδομένων στο cloud. Είναι σημεία πρόσβασης για τους τελικούς κόμβους, οι οποίοι συγκεντρώνουν τα ληφθέντα δεδομένα και τα προωθούν στο διακομιστή δικτύου μέσω μίας σύνδεσης (Wi-Fi, Ethernet, κυβελοειδές ή δορυφόρο). Οι πύλες μπορούν

να λειτουργούν με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους οπότε και δεν υπάρχει κάποια γενική έννοια για αυτές.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου μπορούν να λαμβάνουν δεδομένα παθητικά χωρίς ο αισθητήρας να γνωρίζει την παρουσία τους εκεί. Ακόμη, παρέχουν αμφίδρομη επικοινωνία με τον αισθητήρα και συνεπώς ο τελευταίος μπορεί να ελέγχεται μέσω της πύλης από το cloud. Επίσης, εκπέμπουν πακέτα ραδιοσυχνότητας (RF), τα οποία είναι επικοινωνίες Downlink.

Μία πύλη είναι εγκαταστημένη ως μια μικρή μονάδα που συνυπάρχει με τους αισθητήρες επί του αγρού ή μπορεί να βρίσκεται με τη μορφή ενός κυψελοειδούς πύργου σε μακρινή απόσταση. Η τοποθεσία των πυλών καθορίζεται από τις απαιτήσεις της ασύρματης τεχνολογίας που χρησιμοποιείται, καθώς σε κάθε περίπτωση υπάρχουν ευκολίες αλλά και προβλήματα αντίστοιχα.

Υπάρχουν δύο προγράμματα, το Uplink και το Downlink, τα οποία όπως προαναφέρθηκε είναι ο τρόπος με τον οποίο οι πύλες συνδέουν τις συσκευές με το Διαδίκτυο και το Cloud. Σε περίπτωση συστημάτων άρδευσης το πρόγραμμα Uplink εξάγει, υπολογίζει και ανεβάζει αυτόματα τα καθημερινά δεδομένα άρδευσης και βροχόπτωσης από το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης (π.χ. WiSA) στο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων άρδευσης (π.χ. IrrigWeb). Το πρόγραμμα Downlink από την άλλη μεριά, κατεβάζει, υπολογίζει και εφαρμόζει αυτόματα προγράμματα άρδευσης από το εργαλείο υποστήριξης άρδευσης στο αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης.

Πλατφόρμα Cloud – Διακομιστής

Λόγω της περιορισμένης δυνατότητας αποθήκευσης και επεξεργασίας στο επίπεδο IoT, τα δεδομένα που μετρώνται από τους αισθητήρες αποστέλλονται συνήθως σε μια πλατφόρμα cloud. Εκεί γίνεται προηγμένη επεξεργασία των δεδομένων. Μέσω της πλατφόρμας ελέγχονται ορισμένα συστήματα, είτε άρδευσης είτε εκτροφής ζώων. Για τη σωστή λειτουργία όμως, γεννήθηκε η ανάγκη για νέες καινοτόμες τεχνολογίες και πρωτόκολλα μετάδοσης χαμηλής ισχύος για IoT. Τέτοιες τεχνολογίες επικοινωνίας που μπορούν να πολλοί αισθητήρες να συνδεθούν σε μία πύλη είναι τα ZigBee, 6LowPAN, BLE, NB-IoT, LoRa, LoRaWan, SigFox, Weightless.

Οι διακομιστές cloud ενδέχεται να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση και τα δεδομένα είναι δυνατόν να μεταφερθούν μέσω παραδοσιακής υποδομής διαδικτύου. Σε κάθε περίπτωση, ο τελικός χρήστης λαμβάνει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, μέσω μίας εφαρμογής σε ένα smartphone με τη μορφή μηνύματος ή ειδοποίησης και μπορεί να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες.

3.2 Αισθητήρες - Κόμβοι

Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή που ανιχνεύει διάφορους τύπους φυσικών ή περιβαλλοντικών ποσοτήτων, όπως πίεση, θερμότητα, φως, επίπεδα ρύπανσης, υγρασία, άνεμο και ούτω καθεξής. Η έξοδος του αισθητήρα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις ένα ηλεκτρικό σήμα που μεταδίδεται σε έναν μικροελεγκτή και, κατά συνέπεια, σε ένα δίκτυο για περαιτέρω επεξεργασία. ο πρώτος έξυπνος αισθητήρας προτάθηκε το 1980. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα IoT είναι ασύρματοι. Είναι τυπικά πολύ μικρές ηλεκτρονικές συσκευές, που λειτουργούν με ελάχιστη παροχή ενέργειας μικρότερη των 0.5-2 A και 1.2-3.7 V. Παρέχουν δεδομένα ή είναι συσκευές που ελέγχονται από το cloud. Υπάρχει μια ποικιλία αισθητήρων με βασικότερους τους παρακάτω.

Ένας ευφυής αισθητήρας αποτελείται αρχικά από μια συσκευή ανίχνευσης που μετρά συγκεκριμένες φυσικές παραμέτρους από τον πραγματικό κόσμο (θερμοκρασία, υγρασία, επίπεδα ρύπανσης κ.λπ.). Ακόμη, αποτελείται από μια ρύθμιση σήματος για τη μετατροπή του σήματος σε δεδομένα που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο ευφυής αισθητήρας, ένα υπολογιστικό μπλοκ, δηλαδή έναν επεξεργαστή ή έναν ψηφιακό επεξεργαστή σήματος (DSP), ο οποίος αναλύει και επεξεργάζεται τις μετρήσεις. Τέλος, υπάρχει ένα μπλοκ επικοινωνίας, όπως ένας ασύρματος πομπός, που ανταλλάσσει πληροφορίες με τον κόμβο του αισθητήρα πύλης.

Γενικά, οι αισθητήρες μπορούν να ταξινομηθούν ως οπτικοί, βασικού προγράμματος πίνακα (FPGA), ακουστικοί, υπερτρονικού κινδύνου, οπτοηλεκτρονικοί, μηχανικοί, ηλεκτροχημικοί, ηλεκτρομαγνητικοί, αισθητήρες με βάση το συντονισμό, τηλεματικοί, διηλεκτρικοί υγρασίας του εδάφους, ροής αέρα, και αισθητήρες θέσης. Παρακάτω αναλύονται και απεικονίζονται οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ευρύτερα.

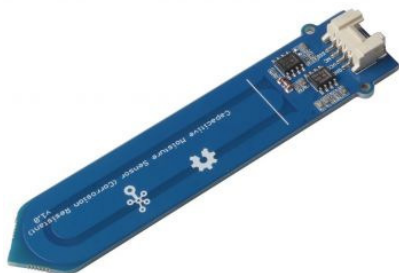
Αισθητήρες θερμοκρασίας

Οι αισθητήρες θερμοκρασίας μετρούν την ποσότητα θερμότητας από μία πηγή. Αυτό τους επιτρέπει να εντοπίζουν τυχόν αλλαγές στη θερμοκρασία και να τις μετατρέπουν σε δεδομένα. Στον τομέα της γεωργίας υπάρχουν συγκεκριμένα όρια στις τιμές της θερμοκρασίας του εδάφους που δε θα πρέπει να ξεπεραστούν. Για το λόγο αυτό τέτοιου είδους αισθητήρες τοποθετούνται σε όλη την έκταση του αγρού υπόγεια για να λαμβάνουν τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Η θερμοκρασία ελέγχει τις διαδικασίες ανάπτυξης των φυτών όπως η φωτοσύνθεση, η διαπνοή, η απορρόφηση κ.λπ. Κάθε καλλιέργεια έχει διαφορετικό εύρος θερμοκρασίας στο οποίο μπορεί να αναπτυχθεί και συνεπώς με τη χρήση τέτοιου είδους αισθητήρων παρατηρείται αύξηση της απόδοσης των καλλιεργειών.



Αισθητήρες περιεκτικότητας υγρασίας του εδάφους

Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν την ποσότητα νερού που εξατμίζεται ή που βρίσκεται διαθέσιμο στο έδαφος και το περιβάλλον, ή άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα. Είναι ικανοί να αναφέρουν και προβλέψουν τις καιρικές συνθήκες. Επιπλέον, αξιολογούν την ένταση και την αναρρόφηση του εδάφους, κατά την οποία οι ρίζες προσπαθούν να εξάγουν νερό από το έδαφος. Μέσω της χρήσης τους εκτιμάται η ποσότητα αποθηκευμένου νερού στο έδαφος ή πόση άρδευση απαιτείται για την επίτευξη της επιθυμητής ποσότητας νερού.



Αισθητήρας ταχύτητας ανέμου

Ο αισθητήρας ταχύτητας ανέμου καθορίζει την ταχύτητα ανέμου στην επιφάνεια του αγρού. Σε ένα πεδίο, είναι απαραίτητο να παρατηρούνται τα καιρικά φαινόμενα και ιδιαίτερα τροποποιήσεις στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου. Πρέπει να τοποθετείται σε κατάλληλο ύψος, ανάλογα με το ύψος της καλλιέργειας.



Αισθητήρας pH

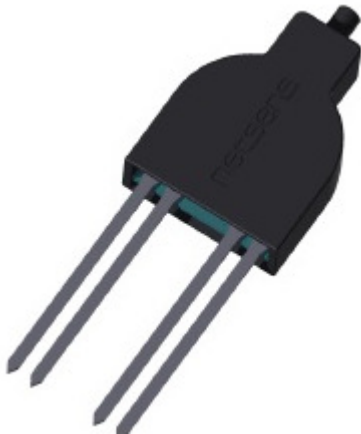
Οι αγρότες πρέπει να ρυθμίζουν την τιμή του pH με τη χρήση αλκαλικών ή όξινων λιπασμάτων για να βελτιώσουν την αγροτική παραγωγή. Η τιμή του pH του εδάφους ποικίλλει εντός του χωραφιού. Για το λόγο αυτό οι αισθητήρες pH, δίνουν τις τιμές στον αγρότη για να μπορέσει να προσδιορίσει την απαραίτητη ποσότητα λιπάσματος που χρειάζεται να εφαρμόσει.



Αισθητήρας ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους (EC)

Οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας μετρούν τη συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας του εδάφους. Η αλατότητα των εδαφών προκαλεί ζημιές στις ρίζες των φυτών

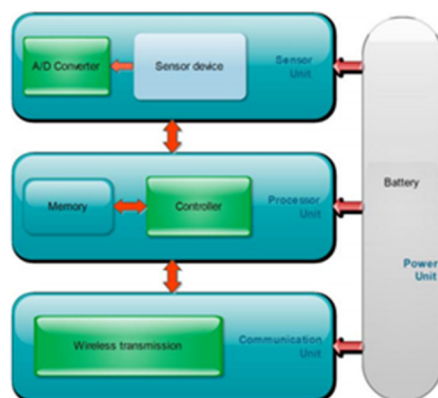
αλλά και μακροπρόθεσμα στο ίδιο το έδαφος. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση τέτοιων αισθητήρων θα πρέπει να βασίζεται στο νόμο Faradays.



Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων στην ευφυή γεωργία

Ως ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) ορίζεται μια ομάδα χωρικών και αποκλειστικών αισθητήρων που παρακολουθούν τις συνθήκες του περιβάλλοντος, αποθηκεύουν προσωρινά τα συλλεγόμενα δεδομένα και που τα μεταδίδουν σε μια κεντρική τοποθεσία. Ένα WSN αποτελείται από πληθώρα κόμβων με δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας. Ο κάθε κόμβος αποτελείται από τους αισθητήρες, τους μικροελεγκτές, τους μετατροπείς και τις πηγές ισχύος.

Τα WSN αναπτύσσονται και εγκαθίστανται για να αντιμετωπίσουν προβλήματα τα οποία δε μπορούσαν να αντιμετωπιστούν με παραδοσιακές τεχνολογίες. Αυτό συμβαίνει διότι πλέον τα δίκτυα αυτά μπορούν να αυτό-οργανωθούν, να διαμορφωθούν και να αυτοδιαγνωστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις κάθε καλλιέργειας.



3.3 Κόστος Αισθητήρων Κόμβων

Οι ασύρματοι αισθητήρες μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 90% κεφαλαιουχικές δαπάνες σε σύγκριση με την εγκατάσταση περισσότερων καλωδίων. Η μέγιστη εξοικονόμηση εξαρτάται από του εγκατεστημένους αισθητήρες που έχουν αναπτυχθεί και από την καλωδίωση. Γενικά, οι αισθητήρες μπορεί να είναι αρκετά οικονομικά εξαρτήματα που τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά από περίπου είκοσι ευρώ με το κόστος να ανεβαίνει ανάλογα με την πολυπλοκότητα και την κάθε εταιρεία.

Το αξιοσημείωτο με τους αισθητήρες είναι ότι μειώνουν αρκετά το κόστος παραγωγής. Προβλέπουν έγκαιρα τα προβλήματα και έτσι αποφεύγονται οι ζημιές που θα προκαλούνταν στην περίπτωση εφαρμογής παραδοσιακών καλλιεργητικών πρακτικών. Επιπλέον, αυξάνουν τα κέρδη με την αύξηση των αποδόσεων οπότε θεωρούνται μια χαμηλού κόστους λύση.

Κεφάλαιο 4

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων στην Ευφυή Γεωργία

4.1 Εισαγωγή

Το IoT διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον γεωργικό τομέα, ο οποίος θα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει 9,6 δισεκατομμύρια ανθρώπους στη Γη έως το 2050. Η ενσωμάτωση συστημάτων IoT στην Ευφυή Γεωργία έχει αυτοματοποιήσει πολλές διεργασίες και διευκόλυνε τη ζωή των αγροτών. Η γεωργία είναι σημαντικός καταναλωτής υπόγειων και επιφανειακών υδάτων και πολλές φορές υπάρχουν σπατάλες. Τα ευφυή συστήματα άρδευσης που βασίζονται σε IoT μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη της βέλτιστης αξιοποίησης των υδάτινων πόρων στο τοπίο. Ο στόχος των συστημάτων περιλαμβάνει εξοικονόμηση ενέργειας και υδάτινων πόρων, χειροκίνητο και αυτόματο χειρισμό και ανίχνευση της στάθμης του νερού. Λόγω των κλιματικών αλλαγών και της έλλειψης ακρίβειας η γεωργία είχε ως αποτέλεσμα χαμηλή απόδοση σε σύγκριση με την όλο και μεγαλύτερη αύξηση του πληθυσμού. Συνήθως, τα συστήματα IoT βασίζονται σε έναν έξυπνο αλγόριθμο και παρέχουν πληροφορίες, οι οποίες αργότερα αξιοποιούνται από τους αγρότες.

Οι εφαρμογές της έξυπνης γεωργίας που βασίζονται σε IoT δεν στοχεύουν μόνο συμβατικές ή μεγάλες γεωργικές δραστηριότητες, αλλά είναι μοχλοί για την ανάδειξη άλλων αναπτυσσόμενων ή τάσεων στη γεωργία, όπως η βιολογική γεωργία, η οικογενειακή γεωργία (σύνθετοι ή μικροί χώροι, συγκεκριμένα βοοειδή ή / και καλλιέργειες), διατήρηση συγκεκριμένων ή υψηλής ποιότητας ποικιλιών, κ.λπ.), και ενίσχυση της εξαιρετικά διαφανής γεωργίας.

4.1.1 Πλεονεκτήματα χρήσης τεχνολογιών IoT στην Ευφυή Γεωργία

Όπως συμβαίνει και στους άλλους κλάδους, η εφαρμογή του Διαδικτύου των πραγμάτων στη γεωργία υπόσχεται αποδοτικότητα, μείωση πόρων και κόστους, αυτοματοποίηση και υιοθέτηση διαδικασιών βάσει δεδομένων. Στη γεωργία, ωστόσο, αυτά τα οφέλη δεν λειτουργούν ως βελτιώσεις, αλλά ως λύσεις για ολόκληρη τη βιομηχανία που αντιμετωπίζει μια σειρά επικίνδυνων προβλημάτων τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω.

Κατ' αρχάς, είναι σημαντικό να τονιστεί πως ο τομέας βρίσκεται κάτω από συνεχή πίεση στις ημέρες μας. Οι αγρότες είναι πλέον υποχρεωμένοι να καλλιεργούν και να παράγουν περισσότερα προϊόντα, καταπονώντας δυστυχώς τα εδάφη και μειώνοντας τη διαθεσιμότητα τμημάτων γης. Η γεωργία με ενσωμάτωση IoT τους επιτρέπει να παρακολουθούν το προϊόν και τις συνθήκες της καλλιέργειας σε πραγματικό χρόνο. Ως εκ τούτου, παίρνουν ταχύτατα πληροφορίες που τους αφορούν, και έτσι, προβλέπουν ανωμαλίες και ζητήματα πριν αυτά να συμβούν. Με την ορθή πρόβλεψη λαμβάνουν αποφάσεις σχετικά με τους τρόπους αποφυγής ζημιών. Επιπλέον, εισάγουν αυτοματισμό για περιπτώσεις άρδευσης, λίπανσης και συγκομιδής. Είναι σημαντικό να εφαρμόζονται οι σωστές ποσότητες σύμφωνα με τις πραγματικές ελλείψεις και όχι όπως πραγματοποιούνταν εμπειρικά τα παλαιότερα χρόνια.

Πολλές λύσεις IoT στη γεωργία έχουν επιφέρει αξιοσημείωτη μείωση των πόρων. Αυτό συμβαίνει διότι επικεντρώνονται στη βελτιστοποίηση της χρήσης νερού, γης και ενέργειας. Ιδιαίτερα, εγκαθίστανται αισθητήρες εδάφους και ο αγρός χαρτογραφείται, ώστε οι αγρότες να κατανοούν καλύτερα τις λεπτομερείς εξάρσεις μεταξύ των συνθηκών και να αναδημιουργούν καλύτερες συνθήκες. Συνεπώς, η κατανομή είναι πιο προσεκτική και ομοιόμορφη. Ως αποτέλεσμα, βελτιώνεται η ποιότητα των προϊόντων και ο όγκος της παραγωγής.

Επιπροσθέτως, τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μπορούν να χρησιμεύσουν στην παρακολούθηση ολόκληρης της επιχείρησης, δηλαδή των επιδόσεων του προσωπικού και της αποδοτικότητας του εξοπλισμού. Συμπερασματικά, όλοι αυτοί οι παράγοντες μπορούν να οδηγήσουν σε υψηλότερα έσοδα.

4.1.2 Χαρακτηριστικά

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) είναι το σύνολο των φυσικών αντικειμένων 'πράγματα', τα οποία συνδέονται όλα μεταξύ τους και είναι ενσωματωμένα με αισθητήρες, λογισμικό και διάφορες τεχνολογίες έτσι ώστε να ανταλλάσσουν δεδομένα με άλλες συσκευές και συστήματα μέσω του Διαδικτύου. Τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά του IoT είναι τα παρακάτω.

- Διασύνδεση. Οτιδήποτε που αφορά το IoT είναι ικανό να διασυνδέεται με την παγκόσμια πληροφόρηση και επικοινωνιακή υποδομή.

- Υπηρεσίες που σχετίζονται με τα ‘Πράγματα’. Ένα σύστημα IoT μπορεί να παρέχει υπηρεσίες εντός των ορίων των ‘Πραγμάτων’. Τέτοιες υπηρεσίες μπορεί να είναι η προστασία της ιδιωτικότητας και η σημασιολογική συνέπεια μεταξύ των φυσικών και των εικονικών πραγμάτων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, οι τεχνολογίες στο φυσικό και πληροφοριακό κόσμο θα αλλάξουν.
- Δυναμικές αλλαγές. Το πλαίσιο των συσκευών, η σύνδεση ή η αποσύνδεσή τους, η θέση αλλά και η ταχύτητά τους αλλάζουν δραστικά. Επιπλέον, μπορεί να αλλάξει δυναμικά και ο αριθμός των συσκευών.
- Ετερογένεια. Οι συσκευές των συστημάτων IoT είναι ετερογενείς αφού βασίζονται σε διαφορετικές πλατφόρμες και δίκτυα υλικού. Ακόμη, μπορούν να αλληλοεπιδρούν με άλλες συσκευές ή πλατφόρμες υπηρεσιών μέσω διαφορετικών δικτύων.
- Τεράστια κλίμακα. Ο αριθμός των συσκευών που επικοινωνούν μεταξύ τους και μπορεί το σύστημα να διαχειρίζεται θα είναι μακράν μεγαλύτερος από τις ήδη υπάρχουσες συνδεδεμένες συσκευές στο τρέχον Διαδίκτυο. Κρίσιμη είναι και η διαχείριση και ανάλυση των δεδομένων που παράγονται για σκοπούς εφαρμογής. Αυτό σχετίζεται με τη σημασία και το χειρισμό απαραίτητων δεδομένων από το συνολικό όγκο.
- Συνδεσιμότητα. Η συνδεσιμότητα επιτρέπει την πρόσβαση και τη συμβατότητα. Η πρόσβαση γίνεται σε ένα δίκτυο και η συμβατότητα παρέχει την ικανότητα κατανάλωσης και παραγωγής δεδομένων.
- Ασφάλεια. Τα συστήματα IoT πρέπει να τα διέπει η ασφάλεια. Πρέπει κυρίως να διασφαλίζεται η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων και της φυσικής ευεξίας του χειριστή. Τέτοια συστήματα ασφαλίζουν τα τελικά σημεία (endpoints) , τα δίκτυα και τα δεδομένα που μετακινούνται.

4.2 Περιπτώσεις IoT στη Γεωργία

Η ευφυής γεωργία περιλαμβάνει τη χρήση των Τεχνολογιών Επικοινωνίας Πληροφοριών (ΤΠΕ) και ειδικότερα του Διαδικτύου των πραγμάτων (IoT) και άλλων συναφών λειτουργιών ανάλυσης δεδομένων μεγάλου όγκου. Για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων μέσω της ηλεκτρονικής παρακολούθησης των καλλιεργειών, καθώς και σχετικών περιβαλλοντικών παραμέτρων χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένα συστήματα. Τα δεδομένα παρακολούθησης αναλύονται για να προσδιοριστεί ποιες καλλιέργειες και συγκεκριμένα ποιες ποικιλίες καλλιεργειών

μπορούν να ανταποκριθούν καλύτερα στους στόχους για τη μέγιστη και καλύτερης ποιότητας, παραγωγικότητα. Η ευφυής καλλιέργεια επιτρέπει την συσχέτιση των δεδομένων των καλλιεργειών (τις επιδόσεις των καλλιεργειών, τα περιβαλλοντικά, την κατάσταση του εδάφους, την αρδευση και τα γονιμοποιητικά δεδομένα) και συναφή αποτελέσματα ανάλυσης δεδομένων με συγκεκριμένες ποικιλίες καλλιέργειας (δηλαδή, γονίδια φυτών και φαινότυποι). Ο συνδιασμός των πληροφοριών έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο παραγωγής τροφίμων σε παγκόσμια κλίμακα. Οι συσκευές με τεχνολογία του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) μπορούν να βοηθήσουν στην καταγραφή των επιπέδων των τιμών του pH των εδαφών και του ποσοστού μείωσης του αζώτου, ως δεδομένα χρονοσειρών και να μοιραστούν μεταξύ μεταξύ των ερευνητών και των αγροτών/καλλιεργητών για περαιτέρω ανάλυση. Επί του παρόντος υπάρχουν αρκετές προτάσεις για ευφυή καλλιέργεια, αλλά μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο έναν μικρό αριθμό συγκεκριμένων συσκευών IoT (π.χ. ένα συγκεκριμένο μοντέλο αισθητήρα υγρασίας εδάφους) και δεν παρέχουν υποστήριξη για ανάλυση δεδομένων ή κοινή χρήση. Η χρήση τέτοιων υφιστάμενων λύσεων απαιτεί επίσης σημαντική προσπάθεια για την ολοκλήρωση και τη συσχέτιση των δεδομένων που λαμβάνονται από διαφορετικές συσκευές IoT, π.χ. δεδομένα από έναν ψεκαστήρα λιπάσματος σε ένα τρακτέρ (κατασκευασμένο από έναν κατασκευαστή) με τα δεδομένα που λαμβάνονται από αισθητήρες υγρασίας εδάφους (που κατασκευάζονται από διαφορετικό κατασκευαστή). Οι τεχνολογίες Internet of Things (IoT) μπορούν να μειώσουν το κόστος και να αυξήσουν την κλίμακα διαφόρων μελετών μέσω της συλλογής σχετικών δεδομένων χρονοσειρών από δίκτυα αισθητήρων, χωρικών δεδομένων από αισθητήρες απεικόνισης και ανθρώπινων παρατηρήσεων που καταγράφονται μέσω εφαρμογών κινητών έξυπνων τηλεφώνων. Για παράδειγμα, οι συσκευές IoT μπορούν να βοηθήσουν στην καταγραφή των επιπέδων pH των εδαφών και του ποσοστού μείωσης του αζώτου ως δεδομένα χρονοσειρών και να τα μοιραστούν μεταξύ ενδιαφερόμενων ερευνητών και καλλιεργητών για περαιτέρω ανάλυση. Επί του παρόντος υπάρχουν σημειακές λύσεις για έξυπνη καλλιέργεια, αλλά μπορούν να χρησιμοποιήσουν μόνο έναν μικρό αριθμό συγκεκριμένων συσκευών IoT. Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων αναφέρεται σε συσκευές που έχουν μοναδικές δυνατότητες για την εκτέλεση τηλεπισκόπησης, παρακολούθησης και προσωρινής αποθήκευσης ορισμένων ομάδων δεδομένων. Το IoT είναι μια πολλαπλή πλατφόρμα όπου οι συσκευές, η επεξεργασία και η επικοινωνία γίνονται πιο ευφυείς. Στη γεωργία, ενδεικτικά, οι αγρότες προτιμούν τη

χρήση τους για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών, τη διαχείριση των καλλιεργειών, την αυτοματοποιημένη άρδευση και τον αυτοματισμό των θερμοκηπίων. Η περιοχή εφαρμογής IoT είναι πολύ διαφορετική και οι εφαρμογές IoT εξυπηρετούν διαφορετικούς χρήστες. Διαφορετικές κατηγορίες χρηστών έχουν διαφορετικές ανάγκες διαχείρισης. Παρακάτω αναλύονται συνοπτικά οι τέσσερις αυτές περιπτώσεις.

4.2.1 Παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών

Για την παρακολούθηση των συνθηκών προϋποτίθεται η εγκατάσταση μετεωρολογικών σταθμών στον αγρό. Τέτοια συστήματα είναι τα Pynco, allMETEO, Smart Elements και άλλα. Για τη λήψη δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας και CO βρίσκονται σε όλο τον αγρό κατανεμημένοι διάφοροι ασύρματοι αισθητήρες, οι οποίοι αφού λάβουν τις πληροφορίες τις στέλνουν στο διακομιστή. Οι μετρήσεις που καταγράφονται βοηθούν το χειριστή να χαρτογραφήσει τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν και στη συνέχεια να προβεί στη λήψη αποφάσεων για τη βελτίωση της καλλιέργειάς του.

Οι Patokar & Gohokar (2018) στο έργο τους *Σχεδιασμός συστήματος ακριβείας με χρήση ασύρματου δικτύου αισθητήρων* προτείνουν υποδομή βασίζεται στην πλατφόρμα Galileo Gen-2 της Intel χαμηλής ισχύος για παρακολούθηση, έλεγχο και υποστήριξη λήψης αποφάσεων χρησιμοποιώντας το Internet of Things (IoT). Η συλλογή διαφορετικών παραμέτρων πεδίου εκμετάλλευσης γίνεται χρησιμοποιώντας κόμβους αισθητήρα που αναπτύσσονται στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις. Κάθε κόμβος συνδέεται ασύρματα με το σταθμό βάσης για τη συλλογή δεδομένων χρησιμοποιώντας ασύρματη πλατφόρμα υλικού πομποδέκτη. Τα δεδομένα στη συνέχεια τροφοδοτούνται στον προσωπικό υπολογιστή και εμφανίζονται στην οθόνη, π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, ροή νερού ψεκαστήρα και υγρασία εδάφους. Από τα δεδομένα που συλλέγονται, με τη χρήση του Διαδικτύου των πραγμάτων, μπορεί να γίνει έλεγχος και να ληφθούν αποφάσεις.

Σύμφωνα με τους συγγραφείς, η χρήση της πληροφορικής θα βοηθήσει τους αγρότες να έχουν καλύτερη παραγωγικότητα και πρόσβαση σε πληροφορίες που αυξάνουν το ποσοστό γονιμότητας. Η χρήση ενός τέτοιου ασύρματου δικτύου αισθητήρων και τεχνολογίας Internet of Things βελτιώνει την ποιότητα παραγωγής και

αποτελεσματικότητας και μειώνει επίσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στην καλλιέργεια.

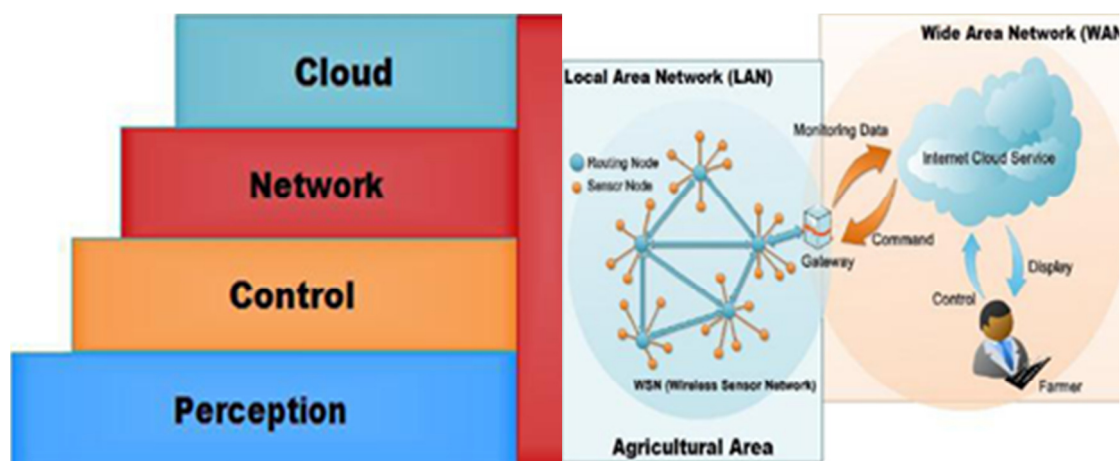
Το προτεινόμενο από τους συγγραφείς σύστημα έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση της παραμέτρου που απαιτείται για την καλλιέργεια. Για την κατασκευή συστήματος ακριβείας, η υποδομή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων υποστηρίζει την απόκτηση και επεξεργασία πληροφοριών και την καταγραφή των δεδομένων των κόμβων. Αυτό είναι ένα σύστημα χαμηλού κόστους. Ένας τέτοιος τύπος συστήματος βελτιώνει την αποδοτικότητα των χρησιμοποιούμενων πόρων, γεγονός που μπορεί να βελτιώσει την παραγωγή. Μπορεί να αρδευτεί με επαρκή ποσότητα νερού και να λιπανθεί επαρκώς με λιπάσματα. Επίσης, μπορεί να οδηγήσει σε ποιοτική και ποσοτική παραγωγή καλλιεργειών, ενώ ο πλήρης έλεγχος γίνεται μέσω Smartphone που είναι πολύ προσιτό, ευέλικτο και φιλικό προς το χρήστη. Το σύστημα είναι γρήγορο και ανταποκρίνεται σε οποιαδήποτε αλλαγή περιβαλλοντικών συνθηκών.

4.2.2 Διαχείριση καλλιεργειών

Οι συσκευές διαχείρισης καλλιεργειών τοποθετούνται επίσης στον αγρό για τη συλλογή δεδομένων που αφορούν τα φυτά. Μετρούν τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, το δυναμικό του φυλλώματος και γενικά τη συνολική κατάσταση υγείας των καλλιεργειών. Ως εκ τούτου, αποτρέπονται με αποτελεσματικό τρόπο οι ασθένειες και οι εχθροί που βλάπτουν την απόδοση και την ποιότητα.

Οι Tanaram et al (2018) στο άρθρο τους *Απομακρυσμένος έλεγχος γεωργίας και αυτοματισμού χρησιμοποιώντας σχεδιασμό και υλοποίηση διαδικτύου των πραγμάτων (IoT)*, στοχεύουν στην αντικατάσταση της ανθρώπινης εργασίας μέσω του αυτοματισμού. Το υπολογιστικό νέφος (cloud computing) σε συνδυασμό με τεχνολογία Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT) είναι ένας σημαντικός τρόπος για την αύξηση της παραγωγικότητας και τον ποιοτικότερο έλεγχο των καλλιεργειών. Οι Tanaram et al (2018) αναλύουν τη δομή ενός συστήματος καλλιέργειας με τηλεχειρισμό και αυτοματισμό. Το αυτοματοποιημένο σύστημα λαμβάνει πληροφορίες από διάφορους τύπους αισθητήρων και ενεργοποιητών, οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και τη μετάδοση πληροφοριών όπως η θερμοκρασία και η υγρασία στον επεξεργαστή και ο έλεγχος των διαφόρων

παραγόντων. Στη συνέχεια, στέλνει τα δεδομένα στο Νέφος (cloud) για να κάνει την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων και να στείλει τις εντολές για τον έλεγχο του εξοπλισμού στο αγρόκτημα/καλλιέργεια. Ένα άλλο μέρος λαμβάνει πληροφορίες από το νέφος (cloud) στα κέντρα λήψης αποφάσεων για τον έλεγχο του περιβάλλοντος σε γεωργικές περιοχές πέρα από τις δυνατότητες του αυτοματισμού. Η διαδικασία και των δύο θα αλληλοσυμπληρώνονται για την απόλυτη σύγχρονη ευφυή γεωργία.



Δομή επιπέδων απομακρυσμένης και Σύνδεση απομακρυσμένου δικτύου αυτοματισμού Γεωργίας αυτοματισμού με την καλλιέργεια

Το σύστημα τηλεχειριστηρίου-αυτοματισμού αποτελείται από πολλά επίπεδα που διαχωρίζουν τις λειτουργίες του κάθε τμήματος. Το κάθε επίπεδο είναι υπεύθυνο για τις καλλιεργητικές εντολές, οι οποίες ελέγχονται από το επόμενο επίπεδο, το οποίο είναι εξίσου υπεύθυνο. Υπάρχουν συνδέσεις μεταξύ των διαφόρων τμημάτων του δικτύου από μικρά και ιδιωτικά δίκτυα σε δημόσια δίκτυα Διαδικτύου. Η δικτύωση είναι ένα σημαντικό μέρος της επέκτασης του συστήματος διαχείρισης ώστε να διευρύνονται τα όρια. Οι αγρότες/καλλιεργητές έχουν τη δυνατότητα να διαχειριστούν τη καλλιέργεια από οπουδήποτε. Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος είναι η βάση δεδομένων Νέφος (cloud).

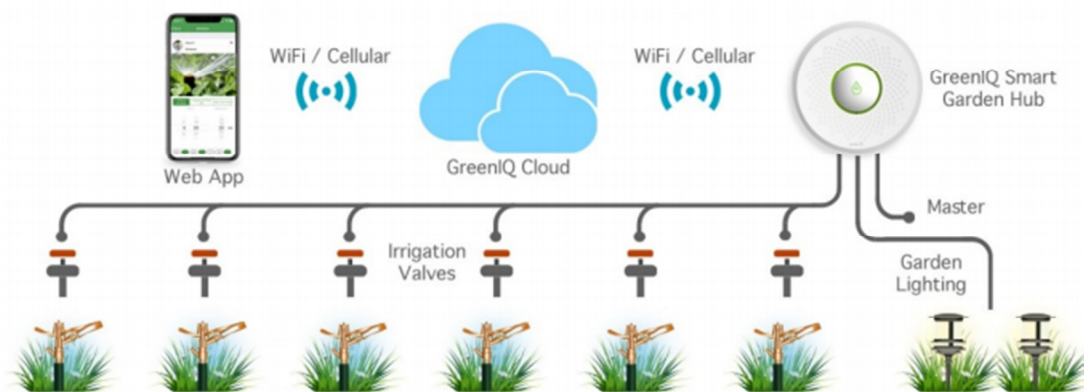
4.2.3 Αυτοματοποιημένη άρδευση (Smart Irrigation)

Η ανεπαρκής διαχείριση των υδάτων δημιουργεί ορισμένα προβλήματα, όπως χαμηλότερη παραγωγικότητα, φρούτα χαμηλότερης ποιότητας, περιβαλλοντικές ζημιές, διάβρωση μειωμένο αέρα του εδάφους, που συνεπάγεται σε υψηλές

κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Ο περιορισμός των υπέργειων και υπόγειων υδάτινων πόρων επιφέρει την κλιματική αλλαγή, για αυτό και πρέπει οι ανάγκες του φυτού να καλύπτονται με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση νερού.

Ένα σύστημα αυτοματοποιημένης άρδευσης βασίζεται στην τεχνολογία IoT που μπορεί να ελέγξει την αντλία νερού για άρδευση στο αγρόκτημα, την παρακολούθηση της κατάστασης υγρασίας του αέρα και του εδάφους, τη θερμοκρασία και την πίεση του αγροκτήματος και την αντλία νερού. Η μονάδα ελέγχου επιτρέπει στο χρήστη να ελέγχει την αντλία του νερού μέσω τριών επιλογών: On, Off ή Auto (Αυτόματο). Έτσι, ενεργοποιεί, απενεργοποιεί ή απλά ρυθμίζει την αντλία του νερού. Ένα τυπικό διάγραμμα μπλοκ του συστήματος αποτελείται από έναν αισθητήρα υγρασίας εδάφους, έναν αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα (DHT11), έναν αισθητήρα πίεσης, έναν Wi-Fi κόμβο Μονάδας MCU, την αντλία νερού, τρανζίστορες, ρελέ και έναν αντιστάτη.

Το Σύστημα Ευφυούς Άρδευσης είναι ενσωματωμένο στο σύστημα εφαρμογών για smartphone και επιτρέπει στο χρήστη να παρακολουθεί και να ελέγχει μέσω μιας εφαρμογής την άρδευση του αγροκτήματος. Εκεί υπάρχει μια διεπαφή για την προβολή των δεδομένων που συλλέγονται απευθείας από τους αισθητήρες με τη βοήθεια του Firebase, το οποίο γεφυρώνει το χάσμα ανάμεσα στο cloud και το υλικό.



Χαρακτηριστικό παράδειγμα ευφυούς άρδευσης είναι η έρευνα των Sreenivasulu et. al. (2018), στο έργο τους *Σύστημα άρδευσης βασισμένο σε IoT χρησιμοποιώντας Κατανεμημένο Ασύρματο Δίκτυο*, προέβησαν σε σχεδιασμό και την οργάνωση άρδευσης μεταβλητού ρυθμού, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και λογισμικό για ανίχνευση σε πραγματικό χρόνο και έλεγχο ενός συστήματος άρδευσης γραμμικής κίνησης ακριβείας για συγκεκριμένη τοποθεσία. Οι συνθήκες του πεδίου παρακολουθήθηκαν ειδικά από έξι σταθμούς αισθητήρων εντός του πεδίου που διανέμονται σε όλο το πεδίο με βάση έναν χάρτη ιδιοκτησίας εδάφους και περιοδικά

δειγματίστηκαν και μεταδόθηκαν ασύρματα σε σταθμό βάσης. Μια μηχανή άρδευσης διαμορφώθηκε ώστε να ελέγχεται ηλεκτρονικά από έναν ελεγκτή λογικής προγραμματισμού, ο οποίος ενημερώνει τη γεωαναφερόμενη θέση των ψεκαστών από ένα διαφορικό σύστημα καθολικής θέσης (gps) και επικοινωνεί ασύρματα με έναν υπολογιστή στο σταθμό βάσης.

Οι συγγραφείς πραγματοποίησαν τη μετατροπή από ένα συμβατικό σύστημα άρδευσης σε ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα για ατομικό έλεγχο των ψεκαστών άρδευσης. Διατυπώθηκε η πλοήγηση του συστήματος άρδευσης που παρακολουθείται συνεχώς από ένα διαφορικό GPS ώστε να μεταφερθούν ασύρματα δεδομένα σε ένα σταθμό βάσης για συγκεκριμένο έλεγχο άρδευσης. Το αυτοματοποιημένο σύστημα άρδευσης που χρησιμοποιήθηκε κρίθηκε εφικτό και οικονομικά αποδοτικό για τη βελτιστοποίηση των υδάτινων πόρων για τη γεωργική παραγωγή.

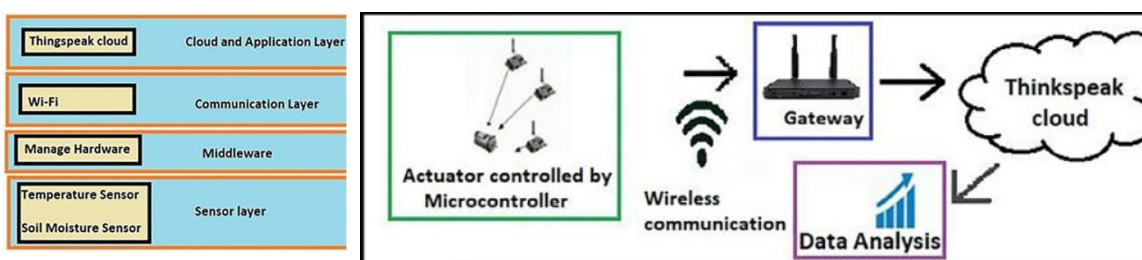
Ο ορισμός της αυτοματοποιημένης άρδευσης αναφέρεται στο σύνολο των συστημάτων τα οποία έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σχεδόν εξ ολοκλήρου μόνα τους (αυτόματα) χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Ο ελεγκτής το μόνο καθήκον που επιτελεί είναι να παρακολουθεί, όποτε απαιτείται, το σύστημα που έχει εφαρμόσει. Η αυτοματοποίηση καθιστά την άρδευση πιο αποτελεσματική και αποδοτική.

Σχεδόν όλα τα εξαρτήματα του συστήματος αυτοματοποιούνται με τη χρήση χρονοδιακοπών, διαφόρων ειδών αισθητήρων, λογισμικών, συσκευών και υπολογιστικών εξαρτημάτων. Με τον τρόπο αυτό παρακολουθούνται οι παράμετροι που αφορούν τη σοδειά και ως εκ τούτου μειώνονται οι εργατικές ώρες και οι ζημιές από λάθος αποφάσεις και υπολογισμούς.

Ερευνητές ανέλυσαν διάφορα συστήματα ευφυούς άρδευσης.

Οι Praveen et al (2020) στο ερευνητικό τους έργο *Πειραματική ανάλυση της περιεκτικότητας σε υγρασία με τυχαία αρδευτική δομή στο έδαφος* προσαρμόζουν στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT), τον ακριβή έλεγχο μιας καλλιέργειας, συλλέγοντας δεδομένα από την παρακολούθηση της θερμοκρασίας και υγρασίας του εδάφους, τα οποία λαμβάνονται ως παράμετροι μετρήσεων και με επαρκή στατιστική ανάλυση υποβάλλονται σε επεξεργασία με τη βοήθεια της εφαρμογής συστήματος νέφους για την ευφυή γεωργία. Χωρίς συμμετοχή του ανθρώπου, τα δεδομένα ανίχνευσης αναλύονται και μπορούν να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα με τα παραπάνω δεδομένα. Σε αυτό το ερευνητικό έργο, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και της

υγρασίας του εδάφους λαμβάνονται ως δεδομένα και μεταδίδονται στην πλατφόρμα νέφους ThingSpeak (ThingSpeak cloud). Οι Praveen et al (2020) σύνδεσαν την καλλιέργεια για τον έλεγχο των παραμέτρων του περιβάλλοντος με το νέφος (cloud) και ένα επίπεδο εφαρμογής (application layer), με επίπεδο επικοινωνίας (communication layer), middleware και με αισθητήρες. Η παραπάνω δομή χρησιμοποιήθηκε για την ευφυή γεωργία.



Έξυπνο σύστημα Μοντέλο στη γεωργική εκμετάλλευση
καλλιέργειας σε
στρώματα

Στο ερευνητικό έργο, για την καλή ποιότητα του, χρησιμοποιείται και το υπολογιστικό νέφος (Cloud computing). Γίνεται χρήση υπολογιστικού νέφους για τη μέτρηση και την αποθήκευση των παραμέτρων της γεωργικής εκμετάλλευσης. Στο νέφος (cloud) και επίπεδο εφαρμογής δημιουργούνται διαφορετικά μονοπάτια. Η υγρασία και η θερμοκρασία μετρούνται σε σχέση με τη χρονική περίοδο. Τα δεδομένα υγρασίας του εδάφους και θερμοκρασίας μέσω της πύλης στέλνονται στο νέφος (cloud). Το Πρωτόκολλο Διαδικτύου πρόκειται να εκτελεστεί με τη βοήθεια της πύλης. Για την αποθήκευση των παραμέτρων χρησιμοποιείται ασύρματο δίκτυο. Η έρευνα των Praveen et al (2020) προωθεί τις παραμέτρους υγρασία εδάφους και θερμοκρασία και τις στέλνει στο νέφος (cloud) με τη βοήθεια του ασύρματου συστήματος. Χρησιμοποιώντας το cloud, σχεδιάστηκε η εφαρμογή που χρησιμοποιούν οι αγρότες για να βελτιώσουν την παραγωγικότητα.

Οι Garcia et al (2020) στο άρθρο *Έξυπνα συστήματα άρδευσης με βάση το IoT: Μια επισκόπηση των πρόσφατων τάσεων για αισθητήρες και συστήματα IoT για άρδευση στη γεωργία ακριβείας* αναφέρουν ότι η διαχείριση του νερού είναι υψίστης σημασίας σε χώρες με λειψυδρία και ότι οι μελέτες για την εξοικονόμηση της χρήσης του νερού με άρδευση έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Αυτοί παρουσιάζουν μία επισκόπηση σχετικά με τα ευφυή συστήματα άρδευσης λόγω των πρόσφατων εξελίξεων στις τεχνολογίες IoT και WSN και τις πιο δημοφιλείς τεχνολογίες ασύρματης

επικοινωνίας και τις πλατφόρμες νέφους, που είναι δυνατόν να εφαρμοστούν στην ανάπτυξη συστημάτων άρδευσης προσδιορίζουν τις παραμέτρους των συστημάτων άρδευσης σχετικά με την ποσότητα και την ποιότητα του νερού, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τις καιρικές συνθήκες. Επίσης συνοψίζουν τους πιο χρησιμοποιούμενους κόμβους και τις ασύρματες τεχνολογίες και συζητούν τις προκλήσεις και τις βέλτιστες πρακτικές για την εφαρμογή συστημάτων άρδευσης με βάση αισθητήρες. Οι García et al (2020) στα δίκτυα αισθητήρων για τα συστήματα της άρδευσης συνδυάζουν διάφορες τεχνολογίες επικοινωνίας αντί να χρησιμοποιούν ένα μόνο πρωτόκολλο και αναφέρονται στα πιο συχνά συστήματα νέφους, για να συνδέσουν τους αισθητήρες με τους κόμβους και στη συνέχεια, να χρησιμοποιήσουν μια ασύρματη τεχνολογία για να στείλουν δεδομένα από κόμβους σε απομακρυσμένα κέντρα αποθήκευσης νέφους. Από τη διεθνή βιβλιογραφία οι συγγραφείς αναφέρουν ότι τα συστήματα αποθήκευσης για το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) σε ευφυείς λύσεις άρδευσης δεν προσδιορίζονται με σαφήνεια. Αυτοί εντοπίζουν ένα μέρος όπου τα δεδομένα, τα οποία συλλέγονται μέσω των αισθητήρων και μεταδίδονται σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, αποθηκεύονται και υποβάλλονται σε επεξεργασία στο ίδιο το νέφος και ότι οι τελικοί χρήστες βλέπουν όλες τις πληροφορίες συνδέοντας στο νέφος. Η αποθήκευση νέφους πραγματοποιείται σε διάφορες πλατφόρμες όπως εντοπίζουν βιβλιογραφικά, και αποθηκεύουν τα δεδομένα που παρακολουθούνται στο νέφος (cloud) αλλά δεν προσδιορίζουν την χρησιμοποιούμενη πλατφόρμα νέφους. Οι πιο συχνά, βιβλιογραφικά, χρησιμοποιούμενη πλατφόρμα είναι Thingspeak (The MathWorks, Natick, MA, USA). Αυτή η πλατφόρμα είναι αρκετά διαισθητική και παρέχει δωρεάν και επί πληρωμή επιλογές για αποθήκευση, ανάλυση και προβολή των δεδομένων σε διαφορετικές συσκευές. Οι αλγόριθμοι μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας το MATLAB (The MathWorks, Natick, MA, USA) για τη δημιουργία των ειδοποιήσεων. Άλλες χρησιμοποιούμενες πλατφόρμες νέφους είτε είναι ακριβότερες είτε παρέχουν λιγότερες υπηρεσίες όπως το FIWARE (Ίδρυμα FIWARE, Γερμανία) και το Dynamo DB (Amazon DynamoDB, Seattle, WA, USA), MongoDB (MongoDB Inc., New York, NY, USA), Ubidots (Ubidots, Doral, FL, USA), Amazon (Amazon, Seattle, WA, USA), M2X (AT&T, Dallas, TX, USA) NETPIE (Nexpie Co., Ltd., Μπανγκόκ, Ταϊλάνδη) SAP (SAP SE, Γερμανία), InteGra (Integra Network Services, Milford, MA, USA), Firebase (Firebase, San Francisco, CA, USA) InfluxDB (InfluxData, San Francisco, CA, USA). Τα συστήματα IoT, γενικά, παράγουν μεγάλο αριθμό δεδομένων λόγω της παρακολούθησης

διαφορετικών παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο, και τα συστήματα άρδευσης IoT παράγουν επίσης μεγάλα δεδομένα. Αν και τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες είναι ήδη μια μεγάλη πηγή πληροφοριών, η ανάλυση αυτών των δεδομένων είναι υψίστης σημασίας για τη βελτιστοποίηση του συστήματος άρδευσης IoT ανάλογα με τη συγκομιδή και τις καιρικές συνθήκες

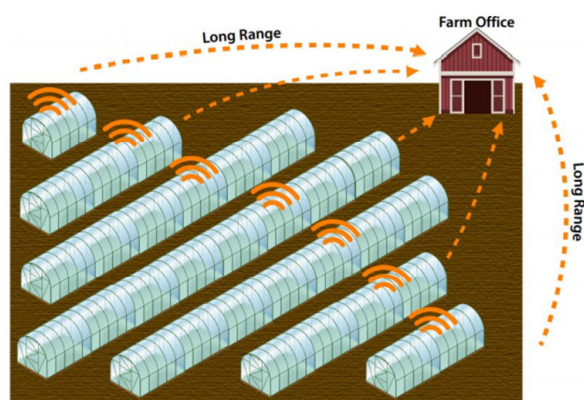
4.2.4 Αυτοματισμοί θερμοκηπίων

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί μπορούν να τοποθετηθούν σε θερμοκήπια. Εκεί, προσαρμόζουν αυτόματα τις συνθήκες για να ταιριάζουν με τις παραμέτρους. Ενδεικτικά, τέτοια γεωργικά συστήματα είναι η Farmapp και η Growlink [Πιλιάτσιος, Α., 2018].

Τα θερμοκήπια είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να προσομοιώνουν και να διατηρούν τις συνθήκες του περιβάλλοντος για να ευδοκιμεί η καλλιέργεια. Συνήθως, οι καλλιεργητές ανά τακτά διαστήματα ελέγχουν και παρακολουθούν διαζώσης τα θερμοκήπιά τους. Παρόλα αυτά, οι δυσκολίες που παρουσιάζονται είναι αρκετές και αφορούν κυρίως τη διατήρηση των συνθηκών και τις αποδόσεις.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων δίνει ένα χέρι βοήθειας στους καλλιεργητές, οι οποίοι πλέον ενσωματώνουν εντός του θερμοκηπίου όλων των ειδών αισθητήρες (θερμοκρασίας, υγρασίας εδάφους και αέρα, έντασης φωτός) και συναφείς τεχνολογίες. Ως εκ τούτου, πραγματοποιούνται συνδέσεις μεταξύ των ελεγκτών και των «πραγμάτων» του συστήματος, οπότε όπως συμβαίνει και σε κάθε περίπτωση συλλέγονται και διαχειρίζονται από τους αισθητήρες δεδομένα πάντα σε πραγματικό χρόνο. Ιδιαίτερη σημασία στα θερμοκήπια δίνεται σε παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα αλλά και έμμεσα τις καλλιέργειες. Αυτές οι παράμετροι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία και την υγρασία αλλά και τη διαθεσιμότητα φωτός, διοξειδίου του άνθρακα CO₂ και οξυγόνου O₂. Για παράδειγμα, αν το περιβάλλον του θερμοκηπίου δεν είναι ιδανικό, ο διακομιστής συγχρονίζεται με την πύλη και βάσει των πληροφοριών που ανταλλάσσουν προσαρμόζεται το σύνολο του εξοπλισμού. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις ποικίλων φυτών και να καθορίσουν με ακριβέστερο τρόπο τις ενέργειές τους.

Τα συστήματα IoT που εγκαθίστανται σε θερμοκήπια απαρτίζονται από τις πύλες και έναν διακομιστή διαδικτύου. Οι πύλες χρησιμεύουν για τη μεταφορά των δεδομένων από τους αισθητήρες στο διακομιστή όπου και αυτά μπορούν να διαχειριστούν. Όλος ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου ελέγχεται από έναν κόμβο ελέγχου όπως φαίνεται στην παρακάτω απεικόνιση των Wang, J., et al. (2020).



Οι ερευνητές Shah et al (2017) στην έρευνά τους *Σχεδιασμός και εφαρμογή συστημάτων αυτοματισμού και παρακολούθησης θερμοκηπίου*, αναφέρουν ένα έξυπνο σύστημα τεχνολογίας του Διαδικτύου των Πραγμάτων όπου οι αγρότες /καλλιεργητές απαιτούν πολλές εργατοώρες και συνεχή έλεγχο στα θερμοκήπια τους. Εξαιτίας αυτών των απαιτήσεων οι Shah et al (2017) δημιούργησαν ένα σύστημα στο θερμοκήπιο που αυτοματοποιεί τις εργασίες και παρακολουθεί τις συνθήκες ανάπτυξης των καλλιεργειών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα έξης :

- Κόμβο αισθητήρα ανίχνευσης θερμοκρασίας και υγρασίας θερμοκηπίου
- Κόμβο αισθητήρα υγρασίας εδάφους
- Υπολογιστή ο οποίος αποτελείται από λογισμικό παρακολούθησης ιστότοπου και απόκτησης δεδομένων I□□- Νέφος (C□□d), που περιέχει αναλυτικά στοιχεία και αποθηκεύει δεδομένα για την εφαρμογή web του τελικού χρήστη.

Οι κόμβοι των αισθητήρων διασυνδέονται χρησιμοποιώντας διεπίδραση σειριακών δεδομένων (Standard Peripheral Interface Bus (SPI)), επικοινωνούν μεταξύ τους και αποστέλλουν τα δεδομένα τα οποία έχουν υποστεί μια πρώτη επεξεργασία. Στη συνέχεια τα δεδομένα συγκεντρώνονται στο Νέφος (C□□d) όπου εκεί εκτελούνται οι αναλύσεις των πληροφοριών και μετά το νέφος αποστέλλει τα δεδομένα στην εφαρμογή εγγραφής. Με το σύστημα Διαδίκτυο των Πραγμάτων-Νέφος (I□□- c□□d) δίνεται η δυνατότητα να εκτελούνται αναλυτικά στοιχεία και να αποθηκεύονται τα δεδομένα που συλλέγονται για μελλοντική χρήση, εύκολα και αποτελεσματικά.

Οι Shah et al για την ανάπτυξη του λογισμικού τους χρησιμοποίησαν τη γλώσσα python. Για το Νέφος, χρησιμοποίησαν υπηρεσίες MathWorks® ThingSpeak™ και adafruit IO. Το σύστημα των Shah et al επιτρέπει στους αγρότες/καλλιεργητές να παρακολουθούν και να διαχειρίζονται τις μεταβαλλόμενες συνθήκες του θερμοκηπίου. Οι κόμβοι των αισθητήρων, η σύνδεσή τους στο Διαδίκτυο και το Νέφος παρέχουν σε πραγματικό χρόνο ενημερώσεις για τα φυτά βοηθώντας τους καλλιεργητές του θερμοκηπίου.

4.3 Προκλήσεις που παρουσιάζουν οι εφαρμογές IoT στις αγροτικές καλλιέργειες

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συζητηθούν μερικές από τις σημαντικές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίζονται προκειμένου να εφαρμόζονται οι λύσεις με IoT. Τέτοια ζητήματα αφορούν τεχνολογικό, κοινωνικό, νομικό, οικονομικό και επιχειρηματικό υπόβαθρο και οι λύσεις πρέπει να λάβουν ευρεία αποδοχή από την κοινότητα IoT.

4.3.1 Διαλειτουργικότητα

Η διαλειτουργικότητα είναι ένα ζήτημα που έχει κάνει την εμφάνιση του λόγω των νέων προτύπων και τεχνολογιών που έχουν δημιουργηθεί. Συνήθως, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία χρησιμοποιούν διαφορετικά πρωτόκολλα και πλατφόρμες αποθήκευσης και ανάλυσης. Η έλλειψη ομοιομορφίας είναι συχνό φαινόμενο και η τοποθέτηση μιας επιπλέον πύλης είναι αναγκαία. Παρόλο που ο τομέας της τεχνολογίας στη γεωργία εξελίσσεται διαρκώς, οι αγρότες δε συμβαδίζουν με το ρυθμό αυτό. Η πρόκληση είναι λοιπόν έγκειται στη μετατροπή των ευφυών αυτόνομων συσκευών σε πλατφόρμες φιλικές προς τους αγρότες.

4.3.2 Συνδεσιμότητα

Η συνδεσιμότητα είναι μείζων πρόβλημα σε αγροτικές περιοχές. Ιδιαίτερα σε απομακρυσμένα μέρη μακριά από αστικά κέντρα η πρόσβαση στο διαδίκτυο είναι ακόμα και αδύνατη. Αυτό επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία συστημάτων IoT καθώς βασίζονται στη σύνδεση με το Διαδίκτυο. Οι τοπικοί παράγοντες πρέπει να λάβουν μέτρα να αντιμετωπίσουν ζητήματα συνδεσιμότητας σε όλες τις περιοχές, διαφορετικά ο τομέας δε θα μπορέσει να ανακάμψει. Ακόμη, ο υπολογιστικός

αλγόριθμος που βασίζεται στο cloud πρέπει να ενισχυθεί διότι πολλοί αισθητήρες και πύλες βασίζονται σε αυτόν για τη μετάδοση και την ανάλυση των δεδομένων που παράγονται. Τέλος, πρόκληση αποτελούν και τα δίκτυα LPWA και τα σήματα GPS, ιδίως σε αγροτικές περιοχές που περιβάλλονται από πυκνά δάση τα οποία καλύπτουν και παρεμποδίζουν τη μετάδοση σημάτων.

4.3.3 Όγκος δεδομένων

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα δεδομένα που συλλέγονται από τις καλλιέργειες ξεπερνούν τις δυνατότητες των αγροτών. Καθημερινά λαμβάνονται χιλιάδες μηνύματα τα οποία ο χειριστής πρέπει να δει και να αναλύσει για να βοηθήσει την παραγωγή του. Πολλές φορές, ένας αγρότης πρέπει να χειριστεί δεδομένα για διάφορες καλλιέργειες. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να εκπαιδευτούν και να μάθουν να αγνοούν σήματα που δε θα επιφέρουν σημαντικές οικονομικές επιπτώσεις. Οπότε, ο όγκος των πληροφοριών θα είναι χρήσιμος μόνο εφόσον οι χειριστές κατανοήσουν πως να τον διαχειρίζονται με τον ορθότερο τρόπο.

4.3.4 Ζώνες Διαχείρισης

Οι αγρότες συνηθίζουν να χωρίζουν την καλλιεργήσιμη έκταση σε μικρότερα αγροτεμάχια για να μπορούν να τα διαχειρίζονται πιο εύκολα. Μολαταύτα επικρατεί σύγχυση για το μέγεθος των ζωνών αυτών. Οι ζώνες αυτές όμως δεν έχουν κάποιο σταθερό μέγεθος. Αντιθέτως, καθορίζονται από τις ανάγκες κάθε εδάφους σε λίπανση και τις διαφορετικές ποιότητες εδαφών που επικρατούν. Ο αριθμός, όμως, των ζωνών και το μέγεθός τους, εξαρτώνται από το μέγεθος της ίδιας καλλιεργητικής περιοχής. Δυστυχώς, οι αγρότες χωρίς να λαμβάνουν υπόψιν τους τις ανάγκες κάθε ζώνης, εφαρμόζουν την άρδευση και τη λίπανση με τον ίδιο τρόπο ομοιόμορφα.

4.3.5 Παροχή ενέργειας

Τα συστήματα IoT απαιτούν τη χρήση ενέργειας για τη λειτουργία τους. Η ύπαρξη πολλών αισθητήρων, βάσεων, πυλών και άλλων συσκευών μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και απαιτούνται περισσότεροι πόροι για την ανανέωσή της. Ακόμα, σε απόμακρες περιοχές λόγω φυσικών φαινομένων μπορεί να διακόπτεται η παροχή ενέργειας και να επηρεάζει την εύρυθμη λειτουργία του

συστήματος. Γίνονται προσπάθειες να προσπεραστούν αυτές οι δυσκολίες όμως πραγματοποιούνται με πολύ αργούς ρυθμούς.

4.3.6 Τεχνικά προβλήματα και υλικές ζημιές

Όπως συμβαίνει με όλα τα μηχανήματα και τον εξοπλισμό στην καθημερινότητά μας, έτσι και στην περίπτωση των εξαρτημάτων των συστημάτων IoT προκαλούνται υλικές ζημιές. Εάν χαλάσει ένας αισθητήρας, για παράδειγμα, δεν προκαλεί άμεσα πρόβλημα. Όμως μακροπρόθεσμα τα δεδομένα που θα έπρεπε να στέλνει, είτε δε θα αποστέλλονται σωστά, είτε δε θα στέλνονται καθόλου. Μέχρι να γίνει αντιληπτό το πρόβλημα μπορεί να είναι ήδη αργά για την καλλιέργεια. Άλλη περίπτωση είναι αν οι τεχνολογικοί πόροι σε μία αποθήκη τροφίμων δε λειτουργούν. Ακόμα και αν επανέλθει η κανονική λειτουργία τους μπορεί να έχει ήδη προκληθεί σοβαρή ζημιά.

5 Συμπεράσματα

Οι τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης δεδομένων στη διαχείριση αγροτικής καλλιέργειας αποτελούν αναμφισβήτητα έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους κλάδους στον κόσμο. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στον κλάδο της διαχείρισης των αγροτικών εκμεταλλεύσεων έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης για πολλούς ερευνητές. Η ασύρματη μετάδοση των δεδομένων πραγματοποιείται σε πραγματικό χρόνο και ένας χειριστής είναι ικανός να επιβλέπει και να υπολογίζει παραμέτρους που υπό άλλες συνθήκες θα παραμελούσε. Συνεπώς, μειώνονται οι απώλειες από εξωτερικούς παράγοντες και το βασικότερο όλων είναι η αύξηση του κέρδους. Τα LoRa, ZigBee είναι πρωτοκόλλα που συνεχώς εξελίσσονται και οι δυνατότητες τους είναι τεράστιες στη γεωργία. Οι τεχνικές συλλογής και ανάλυσης δεδομένων μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να παρθούν οι καλύτερες αποφάσεις για την αύξηση της παραγωγής στις καλλιέργειες.

Οι ασύρματες τεχνολογίες είναι κερδοφόρες και οδηγούν σε πιο αποτελεσματική διαχείριση των εκμεταλλεύσεων. Η παρουσίαση στοιχείων της βιβλιογραφίας έδειξε ότι υπάρχουν πολλές προσπάθειες στην γεωργία που κάνουν χρήση των τεχνολογιών ασύρματης μετάδοσης δεδομένων για την αύξηση της απόδοσης και παραγωγικότητας στις αγροτικές καλλιέργειες.

6 Βιβλιογραφία

- "Peter Day's World of Business". BBC World Service. BBC. Retrieved 4 October 2016
- AlQammaz, A., Darabkh, K. A., Sha'ar, B. A., & Ghatasheh, O. (2018, September). A Framework for Artificial Intelligence Assisted Smart Agriculture Utilizing LoRaWAN Wireless Sensor Networks. In International Workshop Soft Computing Applications (pp. 408-421). Springer, Cham.
- Ayaz, M., Ammad-Uddin, M., Sharif, Z., Mansour, A., & Aggoune, E. H. M. (2019). Internet-of-Things (IoT)-based smart agriculture: Toward making the fields talk. *IEEE Access*, 7, 129551-129583
- Bhanu, K. N., Jasmine, H. J., & Mahadevaswamy, H. S. (2020, June). Machine learning Implementation in IoT based Intelligent System for Agriculture. In 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET) (pp. 1-5). IEEE.
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., ... & Goudos, S. K. (2020). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A Comprehensive Review. *Internet of Things*, 100187.
- Boursianis, A. D., Papadopoulou, M. S., Diamantoulakis, P., Liopa-Tsakalidi, A., Barouchas, P., Salahas, G., ... & Goudos, S. K. (2020). Internet of Things (IoT) and Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Smart Farming: A Comprehensive Review. *Internet of Things*, 100187.
- Cilfone, A., Davoli, L., & Ferrari, G. (2019, November). Virtualizing LoRaWAN Nodes: a CoAP-based Approach. In 2019 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies (ISAECT) (pp. 1-6). IEEE.
- Citoni, B., Fioranelli, F., Imran, M. A., & Abbasi, Q. H. (2019). Internet of Things and LoRaWAN-Enabled Future Smart Farming. *IEEE Internet of Things Magazine*, 2(4), 14-19.
- Dama, S., Sathya, V., Kuchi, K., & Pasca, T. V. (2016). A feasible cellular Internet of Things: Enabling edge computing and the IoT in dense futuristic cellular networks. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), 66-72.

- Dama, S., Sathya, V., Kuchi, K., & Pasca, T. V. (2016). A feasible cellular Internet of Things: Enabling edge computing and the IoT in dense futuristic cellular networks. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 6(1), 66-72.
- Dash, A., Pal, S., & Hegde, C. (2019). Ransomware Auto-Detection in IoT Devices using Machine Learning.
- Davcev, D., Mitreski, K., Trajkovic, S., Nikolovski, V., & Koteli, N. (2018, June). IoT agriculture system based on LoRaWAN. In 2018 14th IEEE International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS) (pp. 1-4). IEEE.
- David, H., & VS, R. Smart irrigation management system using lora wan based sensor nodes. *International Journal of Applied Engineering Research*, 15(11), 2020.
- de Oliveira, L. R., de Moraes, P., Neto, L. P., & da Conceição, A. F. (2020). Review of LoRaWAN Applications. arXiv preprint arXiv:2004.05871.
- Fernández-Ahumada, L. M., Ramírez-Faz, J., Torres-Romero, M., & López-Luque, R. (2019). Proposal for the design of monitoring and operating irrigation networks based on IoT, cloud computing and free hardware technologies. *Sensors*, 19(10), 2318.
- Grochla, K. (2019, August). An Architectural Framework Proposal for IoT Driven Agriculture. In *Computer Networks: 26th International Conference, CN 2019, Kamień Śląski, Poland, June 25–27, 2019, Proceedings (Vol. 1039, p. 18)*. Springer.
- Guowang Miao; Jens Zander; Ki Won Sung; Ben Slimane (2016). *Fundamentals of Mobile Data Networks*. Cambridge University Press. ISBN 978-1107143210.
- Ismail, N., Rajendran, S., Tak, W. C., Xin, T. K., Anuar, N. S. S., Zakaria, F. A., ... & Rahim, H. A. (2019, December). Smart irrigation system based on internet of things (IOT). In *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1339, No. 1, p. 012012)*. IOP Publishing.
- Jayaraman, P. P., Yavari, A., Georgakopoulos, D., Morshed, A., & Zaslavsky, A. (2016). Internet of things platform for smart farming: Experiences and lessons learnt. *Sensors*, 16(11), 1884.
- Joseph, A., & Balamurugan, M. (2020). Lora-WAN Powered by Renewable Energy, and Its Operation with Siri/Google Assistant. *International Research Journal of Multidisciplinary Technovation*, 2(5), 26-34.

- Kinjal, A. R., Patel, B. S., & Bhatt, C. C. (2018). Smart irrigation: Towards next generation agriculture. In *Internet of Things and Big Data Analytics Toward Next-Generation Intelligence* (pp. 265-282). Springer, Cham.
- LoRaWAN™ 1.1 Specification Authored by the LoRa Alliance Technical Committee Mancini, M., Nassisi, P., Trabucco, A., Meloni, A., Toli, K., Bacciu, V., ... & Mereu, S. (2019, October). An Open Source and Low-Cost Internet of Things-enabled Service for Irrigation Management. In *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)* (pp. 1714-1719). IEEE.
- Patel, K. K., & Patel, S. M. (2016). Internet of things-IOT: definition, characteristics, architecture, enabling technologies, application & future challenges. *International journal of engineering science and computing*, 6(5).
- Petrariu, A. I., Lavric, A., & Coca, E. (2019, October). LoRaWAN Gateway: Design, Implementation and Testing in Real Environment. In *2019 IEEE 25th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME)* (pp. 49-53). IEEE.
- Ramachandran, V., Ramalakshmi, R., & Srinivasan, S. (2018, November). An automated irrigation system for smart agriculture using the Internet of Things. In *2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV)* (pp. 210-215). IEEE.
- Rani, G. E., Deetshana, S., Naidu, K. Y., Sakthimohan, M., & Sarmili, T. (2019, April). Automated Interactive Irrigation System-IoT Based Approach. In *2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)* (pp. 1-4). IEEE.
- Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855-873.
- Subashini, S., Venkateswari, R., & Mathiyalagan, P. (2019). A study on LoRaWAN for wireless sensor networks. In *Computing, Communication and Signal Processing* (pp. 245-252). Springer, Singapore.
- Thakare, S., & Bhagat, P. H. (2018, June). Arduino-based smart irrigation using sensors and ESP8266 WiFi module. In *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 1-5). IEEE.

[https://www.lairdconnect.com/resources/blog/all-about-
iot#:~:text=IoT%20Nodes%20%E2%80%93%20Sensing%20and%20Contro
lling,%2C%20temperature%20sensors%2C%20and%20more.](https://www.lairdconnect.com/resources/blog/all-about-
iot#:~:text=IoT%20Nodes%20%E2%80%93%20Sensing%20and%20Contro
lling,%2C%20temperature%20sensors%2C%20and%20more.)

[https://www.rs-online.com/designspark/lorawan-network-server-integrated-or-cloud-
hosted-1](https://www.rs-online.com/designspark/lorawan-network-server-integrated-or-cloud-
hosted-1)

<https://www.sigfox.com/en/sigfox-story>

[https://www.xcubelabs.com/blog/benefits-of-iot-in-agriculture-and-smart-
farming/#:~:text=Agility%3A%20One%20of%20the%20benefits,or%20soil
%20in%20the%20field.](https://www.xcubelabs.com/blog/benefits-of-iot-in-agriculture-and-smart-
farming/#:~:text=Agility%3A%20One%20of%20the%20benefits,or%20soil
%20in%20the%20field.)