



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδιασμός και Ανάπτυξη Κυβερνοφυσικού Συστήματος Ανάπτυξης
Φυτών Βασισμένου στην Τεχνολογία Ψηφιακών Διδύμων



Προπτυχιακή Φοιτήτρια: Αλεξάνδρα Σαρκίρη

Αριθμός Μητρώου: 714222017048

Επιβλέπων: Δημήτριος Πυρομάλης, Επίκουρος Καθηγητής

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ & ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

DIPLOMA THESIS

Designed Development of a Digital Twin based Cyber-Physical System for
Plants Growth



Postgraduate Student: Alexandra Sarkiri

Registration Number: 714222017048

Supervisor: Dimitrios Pyromalis, Assistant Professor

EGALEO, OCTOBER 2022

Η Διπλωματική Εργασία εξετάστηκε από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή

| Όνομα Επώνυμο | Ψηφιακή Υπογραφή |
|--------------------------|-------------------------|
| Πυρομάλης Δημήτριος | |
| Δρόσος Χρήστος | |
| Λάσκαρης Νικόλαος | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Αλεξάνδρα Σαρκίρη του Αθανασίου, με αριθμό μητρώου 714222017048 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



Αλεξάνδρα Σαρκίρη

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό και την ανάπτυξη κυβερνοφυσικού συστήματος για την ανάπτυξη φυτών βασισμένο σε μία τεχνολογία αιχμής γνωστή ως ψηφιακό δίδυμο. Στο θεωρητικό μέρος αναλύονται οι έννοιες του διαδικτύου των πραγμάτων, η αρχιτεκτονική του που βοηθάει στη καλύτερη κατανόηση και διευκόλυνση στον σχεδιασμό έξυπνων συστημάτων. Επιπλέον, αναλύονται οι εφαρμογές σε πολλούς τομείς τις καθημερινότητας των ανθρώπων που έχει συνδράμει στην απλούστευση διαδικασιών και εξοικονόμηση χρόνου. Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων και πιο συγκεκριμένα στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας καθώς για συστήματα που αφορούν την έξυπνη γεωργία ενδείκνυται η χρήση τους χάρη στην μεγάλη εμβέλεια που προσφέρουν. Στο τελευταίο θεωρητικό κεφάλαιο, αναφέρονται οι έννοιες των κυβερνοφυσικών συστημάτων, των ψηφιακών διδύμων και δίδονται μαθηματικά μοντέλα για τον θεωρητικό υπολογισμό ανάπτυξης φυτών βάσει των πραγματικών μετρήσεων.

Στο πρακτικό της διπλωματικής εργασίας παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη δύο διαφορετικών κυβερνοφυσικών συστημάτων τα οποία έχουν ομοιογένεια ως προς το σκοπό και τη χρήση ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ωστόσο διαφοροποιούνται ως προς την επιλογή εξαρτημάτων, το κόστος, τις δυνατότητες αλλά και τις υπηρεσίες cloud που αξιοποιήθηκαν. Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι έχει γίνει και εκτενής αναφοράς τόσο σε πλεονεκτήματα όσο και σε μειονεκτήματα και δυσκολίες που αντιμετωπίστηκαν σε κάθε περίπτωση αλλά και δοκιμές που οδήγησαν σε αδιέξοδο προκειμένου να αποφευχθούν στο μέλλον από αναγνώστες με παρόμοια ενδιαφέροντα.

Λέξεις-Κλειδιά: Διαδίκτυο των Πραγμάτων, Κυβερνοφυσικό Σύστημα, Ψηφιακό Δίδυμο, Έξυπνη Γεωργία, Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων Χαμηλής Κατανάλωσης Ενέργειας

Abstract

This paper deals with the design and development of a cyber-physical system for plant growth based on a cutting-edge technology known as digital twin. In the theoretical part, the concepts of the internet of things, its architecture that helps to better understand and facilitate the design of smart systems are discussed. In addition, the applications in many areas of people's daily life that has helped in simplifying processes and saving time are analyzed. Then, wireless sensor networks are presented, and more specifically in low-power wireless sensor networks as for systems related to smart agriculture their use is appropriate due to the long range they offer. In the last theoretical chapter, the concepts of cyber-physical systems, digital twins and mathematical models for the theoretical calculation of plant growth based on real measurements are given.

The practical part of the thesis presents the design and development of two different cyber-physical systems which have similarity in purpose and use of low power wireless sensor network however they are differentiated in terms of component selection, cost, capabilities and cloud services utilized. It is also worth noting that extensive references have also been made to both advantages and disadvantages and difficulties encountered in each case as well as trials that led to deadlock in order to avoid them in the future by readers with similar interests.

Keywords: Internet of Things, Internet of Things, Cyber-physical system, Digital Twin, Smart Agriculture, Wireless Low Power Sensor Network

Ευχαριστίες

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας που σηματοδοτεί και την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Δημήτριο Πυρομάλη και τον κύριο Παναγιώτη Παπαγεώργα για την πολύτιμη στήριξη και καθοδήγηση που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα μέλη του ερευνητικού εργαστηρίου Ευφών Τεχνολογιών, Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Ποιότητας του τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Επιπλέον, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματός μου για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέδωσαν. Τέλος, το μεγαλύτερο ευχαριστώ θέλω να το δώσω στους κοντινούς μου ανθρώπους και ιδιαίτερα στον Ιωάννη για την αμέριστη στήριξη, βοήθεια και τη δύναμη που μου προσέφεραν τόσο στις πιο δύσκολες όσο και στις πιο ευχάριστες στιγμές.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Περίληψη..... | 5 |
| Abstract | 6 |
| Ευχαριστίες..... | 7 |
| Ακρωνύμια | 12 |
| Εισαγωγή | 13 |
| Κεφάλαιο 1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων..... | 15 |
| 1.1 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων | 17 |
| 1.2 Εφαρμογές για καταναλωτές | 17 |
| 1.2.1 Έξυπνο σπίτι | 17 |
| 1.2.2 Φροντίδα ανθρώπων με ειδικές ανάγκες | 17 |
| 1.3 Εφαρμογές στην ιατρική και υγειονομική περίθαλψη | 18 |
| 1.4 Στρατιωτικές εφαρμογές | 19 |
| 1.5 Βιομηχανικές εφαρμογές | 20 |
| 1.6 Εφαρμογές στην παραγωγή | 20 |
| 1.7 Έξυπνη Γεωργία | 21 |
| 1.7.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στη Γεωργία..... | 22 |
| 1.7.2 Γεωργία ακριβείας..... | 23 |
| 1.8 Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων | 25 |
| Κεφάλαιο 2: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων | 27 |
| 2.1 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας | 29 |
| 2.2 LPWAN τεχνολογίες..... | 31 |
| 2.2.1 SigFox..... | 31 |
| 2.2.2 NB-IoT | 31 |
| 2.2.3 MlIoT..... | 33 |
| 2.2.4 LoRa και LoRaWAN | 34 |
| 2.2.5 Weightless | 35 |
| 2.2.6 ZigBee | 36 |
| 2.2.7 Wi-Fi..... | 37 |
| 2.2.8 Bluetooth..... | 38 |
| 2.2.9 5G | 39 |
| Κεφάλαιο 3: Κυβερνοφυσικά Συστήματα | 41 |
| 3.1 Ψηφιακό δίδυμο | 43 |
| 3.2 Ψηφιακό δίδυμο σιταριού και Lantana Camara..... | 45 |
| Κεφάλαιο 4: ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... | 49 |
| 4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος- 1 ^η προσέγγιση | 49 |

| | |
|---|-----|
| 4.2 Επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων | 51 |
| 4.2.1 Arduino Uno και ο μικροελεγκτής ATmega328P..... | 51 |
| 4.2.2 TTGO ESP32 LoRa | 53 |
| 4.2.3 Dragino Lora Shield..... | 55 |
| 4.2.4 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT11 | 58 |
| 4.2.5 Αισθητήρας φωτεινότητας GL5537..... | 62 |
| 4.2.6 Αισθητήρας υγρασίας χώματος FC-28 | 64 |
| 4.2.7 Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας χώματος DS18B20 | 66 |
| 4.2.8 Relay και Power Bank | 70 |
| 4.3 Ο κώδικας λήψης δεδομένων του TTGO ESP32..... | 71 |
| 4.4 LoRa Spreading Factor | 76 |
| 4.5 MQTT Protocol | 77 |
| 4.6 Cloud service Adafruit IO..... | 79 |
| 4.7 Οπτική Αποτύπωση Υλοποίησης Συστήματος | 84 |
| 4.8 Αρχιτεκτονική Συστήματος με τη χρήση LoRaWAN πρωτοκόλλου- 2 ^η προσέγγιση | 85 |
| 4.9 Επιλογή εξαρτημάτων | 87 |
| 4.9.1 RN2483 Module..... | 87 |
| 4.9.2 Raspberry Pi 3 Model B+ | 88 |
| 4.9.3 IC880A Board..... | 90 |
| 4.9.4 Τροφοδοτικό RS 25-5 | 91 |
| 4.10 Υλοποίηση συστήματος gateway | 92 |
| 4.11 ChirpStack..... | 93 |
| 4.11.1 ChirpStack Gateway OS | 93 |
| 4.11.2 ChirpStack Gateway Bridge | 95 |
| 4.11.3 ChirpStack Network Server..... | 95 |
| 4.11.4 ChirpStack Application Server | 96 |
| 4.12 Κώδικας Λήψης Μετρήσεων και Αποστολής στο ChirpStack Network Server | 100 |
| 4.13 Υλοποίηση Συστήματος..... | 104 |
| 4.14 Microsoft Azure και Node-red Services..... | 105 |
| Συμπεράσματα | 108 |
| Βιβλιογραφία | 109 |

Περιεχόμενα Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1- Παράδειγμα IoT Συστήματος [1] | 16 |
| Εικόνα 2- Internet of Medical Things | 19 |
| Εικόνα 3- Drone με κάμερες φάσματος [4]..... | 23 |
| Εικόνα 4- Precision agriculture field [6] | 24 |
| Εικόνα 5- Η βασική αρχιτεκτονική του διαδικτύου των πραγμάτων [8] | 26 |
| Εικόνα 6- Wireless Sensor Network [9]..... | 28 |
| Εικόνα 7- Σύγκριση ασύρματων πρωτόκολλων επικοινωνίας [12] | 30 |
| Εικόνα 8- Δίκτυο SigFox [13] | 31 |
| Εικόνα 9- Το λογότυπο του NB-IoT [15]..... | 32 |
| Εικόνα 10- Το λογότυπο του MIoTy [16]..... | 33 |
| Εικόνα 11- LoRa and LoRaWAN Layers [17] | 34 |
| Εικόνα 12- Οπτικοποίηση διαλειτουργικότητας του πρωτοκόλλου LoRaWAN [18]..... | 35 |
| Εικόνα 13- Το λογότυπο του Weightless [19] | 36 |
| Εικόνα 14- Το λογότυπο του zigbee [20]..... | 37 |
| Εικόνα 15- WiFi logo [22] | 38 |
| Εικόνα 16- Διασυνδεσιμότητες του Bluetooth [23] | 39 |
| Εικόνα 17- Cyber Physical Systems [26]..... | 42 |
| Εικόνα 18- Ψηφιακό δίδυμο στη βιομηχανία [28]..... | 44 |
| Εικόνα 19- Μέθοδος υπολογισμού του τέλους του σταδίου ανάπτυξης φυτού βάση θερμοκρασιών [29] | 46 |
| Εικόνα 20- Γραφική απεικόνιση περιεκτικότητας νερού του φυλλώματος και του εδάφους | 48 |
| Εικόνα 21- Αρχιτεκτονική Συστήματος..... | 50 |
| Εικόνα 22- Αρχιτεκτονική Συστήματος..... | 50 |
| Εικόνα 23- Arduino UNO board [31] | 51 |
| Εικόνα 24- Τα pinouts του Arduino Uno [31]..... | 52 |
| Εικόνα 25- Ο μικροελεγκτής ESP32 TTGO [33]..... | 53 |
| Εικόνα 26- Το λειτουργικό διάγραμμα του ESP32 [32]..... | 54 |
| Εικόνα 27- Το Dragino LoRa Shield [34] | 55 |
| Εικόνα 28- Διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του Dragino LoRa shield [34]..... | 56 |
| Εικόνα 29- Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 [35]..... | 58 |
| Εικόνα 30- Συνδεσμολογία Αισθητήρα DHT11 [35]..... | 60 |
| Εικόνα 31- Ο αισθητήρας φωτεινότητας GL5537 [36]..... | 62 |
| Εικόνα 32- Συνδεσμολογία του αισθητήρα GL5537 | 63 |
| Εικόνα 33- Ο αισθητήρας μέτρησης εδαφικής υγρασίας FC-28 [38] | 64 |
| Εικόνα 34- Συνδεσμολογία του αισθητήρα FC-28 [38]..... | 65 |
| Εικόνα 35- Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους DS18B20 [39] | 67 |
| Εικόνα 36- Οι όψεις και το pinout του αισθητήρα DS18B20 [39] | 67 |
| Εικόνα 37- Η συνδεσμολογία του αισθητήρα DS18B20 [39]..... | 68 |
| Εικόνα 38- Relay 5 Volts | 70 |
| Εικόνα 39- LoRa Spreading Factor [40] | 76 |
| Εικόνα 40- Παράδειγμα με χρήση MQTT πρωτοκόλλου [41] | 78 |
| Εικόνα 41- Εμφάνιση μετρήσεων στο Adafruit io σε πραγματικό χρόνο | 79 |
| Εικόνα 42- Ενδείκτης και γράφημα της υγρασίας περιβάλλοντος | 80 |
| Εικόνα 43- Ενδείκτης και γράφημα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος..... | 80 |
| Εικόνα 44- Ενδείκτης και γράφημα της φωτεινότητας..... | 80 |
| Εικόνα 45- Ενδείκτης και γράφημα της θερμοκρασίας χώματος | 81 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 46- Ενδείκτης και γράφημα της εδαφικής υγρασίας | 81 |
| Εικόνα 47- Παρακολούθηση όλων των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο | 81 |
| Εικόνα 48- Παρακολούθηση των δεδομένων της υγρασίας χώματος | 82 |
| Εικόνα 49- Παρακολούθηση των δεδομένων της υγρασίας περιβάλλοντος | 82 |
| Εικόνα 50- Συνολική εικόνα των dashboards..... | 82 |
| Εικόνα 51- Συνολική εικόνα των γραφημάτων | 83 |
| Εικόνα 52- Η ανάπτυξη του πρώτου κυβερνοφυσικού συστήματος..... | 84 |
| Εικόνα 53- Αρχιτεκτονική συστήματος με χρήση LoRaWAN | 85 |
| Εικόνα 54- Συνέχεια αρχιτεκτονικής συστήματος με χρήση LoRaWAN | 86 |
| Εικόνα 55- RN2483 module..... | 87 |
| Εικόνα 56- Raspberry Pi 3 Model B+ [44]..... | 88 |
| Εικόνα 57- Raspberry Pi 3 technical specifications [44]..... | 89 |
| Εικόνα 58- iC880A board [45]..... | 90 |
| Εικόνα 59- Το τροφοδοτικό RS 25-5 [46] | 91 |
| Εικόνα 60- Η συνολική οπτική αποτύπωση του gateway..... | 92 |
| Εικόνα 61- Αρχιτεκτονική ChirpStack [47]..... | 93 |
| Εικόνα 62- Επιτυχής εγκατάσταση του ChirpStack Gateway OS | 94 |
| Εικόνα 63- Επιτυχής εγκατάσταση των network, bridge και application server | 95 |
| Εικόνα 64- Δημιουργία προφίλ των gateways στο ChirpStack | 96 |
| Εικόνα 65- Πληροφορίες ενεργοποίησης του gateway εσωτερικά του προφίλ του..... | 97 |
| Εικόνα 66- Εμφάνιση των πακέτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο..... | 97 |
| Εικόνα 67- Δημιουργία application profile | 98 |
| Εικόνα 68- Εμφάνιση όλων των προφίλ εφαρμογών που υποστηρίζονται από τον UNIWA server..... | 99 |
| Εικόνα 69- Πληροφορίες για τον κόμβο και το gateway στο ChirpStack Application Server. 99 | |
| Εικόνα 70- Serial Monitor του Arduino IDE..... | 103 |
| Εικόνα 71- Η συνολική εικόνα ανάπτυξης κυβερνοφυσικού συστήματος..... | 104 |
| Εικόνα 72- Δημιουργία ροής στο node-red | 106 |
| Εικόνα 73- Περιβάλλον Χρήστη Υλοποιημένου Συστήματος, Ενδείκτες | 107 |
| Εικόνα 74- Περιβάλλον Χρήστη Υλοποιημένου Συστήματος, Γραφήματα..... | 107 |

Ακρωνύμια

IoMT- Internet of Medical Things

RPM - Remote Patient Monitoring

WSN- Wireless Sensor Network

USB- Universal Serial Bus

Wi-Fi- Wireless Fidelity

UART- Universal Asynchronous Receiver Transmitter

TCP- Transmission Control Protocol

HTTP- HyperText Transfer Protocol

IP- Internet Protocol

GSM - Global System for Mobile Communications

Km- kilometer

MHz- megahertz

b/sec- bit/second

km/h- kilometers/hour

MAC- Media Access Control

MQTT- Message Queuing Telemetry Transport

SPI- Serial Peripheral Interface

I²C- Inter-Integrated Circuit

ADC- Analog to Digital Converter

DAC- Digital to Analog Converter

dBm- decibel-milliwatts

PWM- Pulse Width Modulation

GND- Ground

GPIO- General Purpose Input/Output

KΩ- kiloohms

M2M- machine-to-machine

OTAA- Over the Air Authentication

ABP- Authentication by Personalization

Εισαγωγή

Η τέταρτη βιομηχανική επανάσταση ή Βιομηχανία 4.0 σηματοδοτεί την ταχεία αλλαγή στην τεχνολογία, τις βιομηχανίες και τα κοινωνικά πρότυπα και διαδικασίες στον 21ο αιώνα λόγω της αυξανόμενης διασυνδεσιμότητας και της έξυπνης αυτοματοποίησης. Η Βιομηχανία 4.0 (Industry 4.0) η οποία εισάγει αυτό που έχει ονομαστεί "Smart Manufacturing" κατά την οποία τα κυβερνοφυσικά συστήματα παρακολουθούν τις φυσικές διαδικασίες ενός συστήματος και λαμβάνουν αποκεντρωμένες αποφάσεις. Τα φυσικά συστήματα γίνονται μέρος του Internet of Things, επικοινωνούν και συντονίζονται τόσο μεταξύ τους όσο και με τους ανθρώπους σε πραγματικό χρόνο μέσω ενός ασύρματου ιστού.

Η ευρεία διάδοση του Διαδικτύου των Πραγμάτων επέτρεψε την δημιουργία έξυπνων συστημάτων τόσο σε ατομικό επίπεδο δηλαδή σε εφαρμογές έξυπνου σπιτιού όσο και σε συλλογικό επίπεδο όπως για παράδειγμα εφαρμογές σε έξυπνες πόλεις, νοσοκομεία, βιομηχανίες και γεωργία. Ωστόσο παρά το γεγονός ότι για τα συστήματα ενός έξυπνου σπιτιού ενδείκνυται η χρήση των ασυρμάτων τεχνολογιών Wi-Fi ή Bluetooth ως προς την εμβέλεια και τη ταχύτητα για εφαρμογές μεγαλύτερου βεληνεκούς όπως στην έξυπνη γεωργία που οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται ήταν απαραίτητη η εύρεση μιας καλύτερης λύσης. Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας κατέστησαν εφικτή την κάλυψη πολύ μεγάλης εμβέλειας με ταυτόχρονη πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας που λόγω τις ενεργειακής κρίσης φαίνεται ότι τα προσεχή χρόνια θα χρησιμοποιούνται κατά κόρον.

Μια από τις πιο σημαντικές τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν χάρη στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων και κατά επέκταση στα κυβερνοφυσικά συστήματα είναι η τεχνολογία των ψηφιακών δίδυμων. Το ψηφιακό δίδυμο είναι μία ψηφιακή ή εικονική προσομοίωση ενός φυσικού συστήματος ή προϊόντος το οποίο χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τη NASA πριν μερικά χρόνια. Η εν λόγω τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να συνδέει τον πραγματικό και ψηφιακό κόσμο συλλέγοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο με τη βοήθεια των αισθητήρων. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι είτε τοπικά αποκεντρωμένα είτε κεντρικά αποθηκευμένα σε ένα cloud και αναλύονται και προσομοιώνονται στο ψηφιακό αντίγραφο. Στη συνέχεια, λαμβάνονται οι πληροφορίες από το ψηφιακό δίδυμο και παράμετροι εφαρμόζονται στο πραγματικό σύστημα βελτιστοποιώντας με το τρόπο αυτό την οπτικοποίηση της πραγματικής απόδοσης. Η τεχνολογία αυτή αν και δεν έχει ακόμα πολύ μεγάλη εμβέλεια ωστόσο θεωρείται τεχνολογία αιχμής τα επόμενα χρόνια φαίνεται ότι θα απασχολήσει πολύ τις βιομηχανίες.

Κίνητρο για το θέμα της παρούσας εργασίας αποτέλεσε αφενός η προαναφερθείσα τεχνολογία αιχμής η οποία σε προπτυχιακό επίπεδο αποτελεί ένα δύσβατο μονοπάτι σε συνδυασμό με τις καταστροφικές πυρκαγιές που πλήττουν κάθε χρόνο τις περισσότερες χώρες του πλανήτη με αποτέλεσμα να καίγεται υπέρογκος αριθμός χλωρίδας. Ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη κυβερνοφυσικού συστήματος ανάπτυξης φυτών βασισμένου στην τεχνολογία των ψηφιακών διδύμων έχει ως στόχο την ψηφιακή προσομοίωση ενός φυτού στο οποίο αφού γίνεται η λήψη μετρήσεων από αισθητήρες θα μπορούν να παρακολουθούνται εξ αποστάσεως παράγοντες ζωτικής σημασίας για την ομαλή ανάπτυξη του. Επιπλέον, με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων μπορεί να υπολογιστούν οι μέρες που ένα σιτάρι χρειάζεται για να αναπτυχθεί με βέλτιστο τρόπο και το ποσοστό ανάπτυξης φυλλώματος του φυτού *Lantana Camara*.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι αναπτύχθηκαν δύο διαφορετικά κυβερνοφυσικά συστήματα βασισμένα όμως στο ίδιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο κυβερνοφυσικό σύστημα βάσει των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν υποστηρίζει point to point επικοινωνία και χρησιμοποιήθηκε η διαμόρφωση LoRa γεγονός που συνεπάγεται ότι μπορεί να παρακολουθείται κάποιο φυτό έως και 15 χιλιόμετρα μακριά από τον χρήστη με κάποιους μικρούς περιορισμούς ως προς τον αριθμό των κόμβων και τα requests λόγω των περιορισμών του κόστους ανάπτυξης.

Από την άλλη πλευρά στο δεύτερο κυβερνοφυσικό σύστημα αξιοποιήθηκε το πρωτόκολλο LoRaWAN διαφοροποιήθηκε το gateway έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με μεγαλύτερο αριθμό κόμβων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για παρακολούθηση ενός χωραφιού με εγκατεστημένους έως 7 κόμβους και προβολή των δεδομένων μέσω dashboards και γραφημάτων. Οι δυνατότητες αυτές δόθηκαν λόγω αύξησης του κόστους του συστήματος αλλά και την συνδρομή του server του πανεπιστημίου δυτικής Αττικής ο οποίος δεν εμφανίζει περιορισμούς ως προς το πλήθος των δεδομένων.

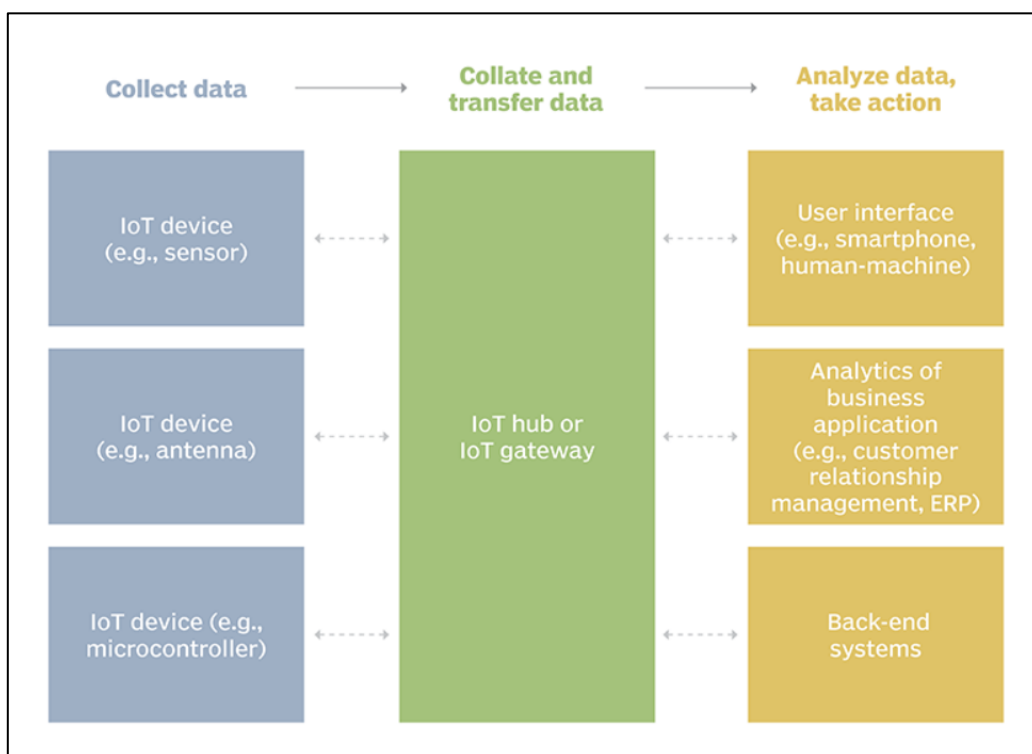
Κεφάλαιο 1: Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (IoT) ορίζεται ως ένα σύστημα αλληλένδετων υπολογιστικών, μηχανικών, ψηφιακών μηχανών, αντικειμένων, ζώων ακόμα και ανθρώπων που παρέχονται με μοναδικά αναγνωριστικά και την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων μέσω ενός δικτύου χωρίς να απαιτείται η διαπροσωπική επαφή ή η αλληλεπίδραση ανθρώπου μηχανής. Η χρήση του όρου πράγμα στο IoT μπορεί να θεωρείται ένας άνθρωπος με εμφύτευμα παρακολούθησης της καρδιάς, ένα αυτοκίνητο με αισθητήρες εντοπισμού εμποδίων στο παρκάρισμα, ένα θερμοκήπιο με ενσωματωμένους αισθητήρες για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών ή οποιοδήποτε άλλο σύστημα στο οποίο μπορεί να εκχωρηθεί μία διεύθυνση πρωτόκολλου διαδικτύου (IP) η οποία έχει τη δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων προς το δίκτυο.

Οι πολυάριθμες και ποικίλες εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων προσφέρουν στον άνθρωπο μια πιο εύκολη ζωή απαλλαγμένη από τυποποιημένες κινήσεις και σπατάλη χρόνου. Αξίζει επίσης να σημειωθεί πως πέραν της προσφοράς του IoT στην αυτοματοποίηση των σπιτιών εξίσου μεγάλη απήχηση τα τελευταία χρόνια έχει σε επιχειρήσεις και οργανισμούς. Ο λόγος γίνεται για την δυνατότητα του να παρέχει ακριβή δεδομένα σε πραγματικό χρόνο όπως για παράδειγμα για τον τρόπο λειτουργίας συστημάτων παρέχοντας πληροφορίες για την απόδοση των μηχανών, τις λειτουργίες της αλυσίδας εφοδιασμού και άλλα. Αν και το διαδίκτυο των πραγμάτων έχει πολύ μεγάλη απήχηση και χρήση τόσο ατομική όσο και συλλογική φαίνεται ότι τα επόμενα χρόνια οδεύοντας προς το επόμενη βιομηχανική επανάσταση θα έχει πολύ περισσότερες εφαρμογές και χρήστες. Μερικά από τα πιο αξιοσημείωτα πλεονάσματα που προσφέρει είναι :

- Η παροχή επεξεργασμένων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από διάφορες συσκευές όπως υπολογιστής, κινητό ή laptop με μόνη προϋπόθεση τη σύνδεση στο διαδίκτυο.
- Την βέλτιστη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των έξυπνων ηλεκτρονικών συσκευών.
- Η δημιουργία μεγάλων δικτύων με σκοπό τη μεταφορά των δεδομένων ανταποκρινόμενων στις απαιτήσεις των διαφόρων εφαρμογών.
- Η αυτοματοποίηση εργασιών απαλλάσσοντας τον άνθρωπο από τυποποιημένες κινήσεις και εξοικονομώντας χρόνο.

Ένα σύστημα IoT αποτελείται από έξυπνες συσκευές με δυνατότητα σύνδεσης στο διαδίκτυο, οι οποίες χρησιμοποιούν ενσωματωμένα συστήματα, όπως επεξεργαστές, αισθητήρες και υλικό επικοινωνίας, για να συλλέγουν, να αποστέλλουν και να ενεργούν με βάση τα δεδομένα που αποκτούν από το περιβάλλον τους. Οι αισθητήρες αυτοί λαμβάνουν μετρήσεις και τις αποστέλλουν σε gateways. Ένα gateway έχει τη δυνατότητα συλλογής δεδομένος είτε από έναν κόμβο αισθητήρων είτε από περισσότερους. Στη συνέχεια, τα επεξεργασμένα δεδομένα αποστέλλονται σε κάποια υπηρεσία cloud ή αποθηκεύονται τοπικά και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα της αμφίδρομης επικοινωνίας με το σύστημα. [1]



Εικόνα 1- Παράδειγμα IoT Συστήματος [1]

1.1 Εφαρμογές του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Λόγω της μεγάλης ανάπτυξης και απήχησης που γνωρίζει το διαδίκτυο των πραγμάτων τα τελευταία χρόνια με αντίστοιχο ρυθμό αυξάνονται και οι τομείς στους οποίους έχει εφαρμογή. Οι εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων εκτελούνται σε συσκευές IoT που σε συνδυασμό με την τεχνητή νοημοσύνη και την μηχανική μάθηση μπορούν να σχεδιαστούν για εξειδικευμένες λειτουργίες σε εκτεταμένο σύνολο χώρων κυρίως καταναλωτικό, εμπορικό, βιομηχανικό και υποδομών.

1.2 Εφαρμογές για καταναλωτές

Οι εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων που σχεδιάζονται από τις πιο μικρές μέχρι τις πιο καταξιωμένες εταιρείες σε παγκόσμια κλίμακα. Στοχεύουν στην καθημερινή χρήση αυτών από τους καταναλωτές για το λόγο αυτό τα συστήματα καλούνται να είναι απλά και φιλικά προς τους χρήστες λαμβάνοντας υπόψη ότι το καταναλωτικό κοινό αποτελείται από ανθρώπους που έχουν μεγάλη οικειότητα και γνώσεις πάνω στο αντικείμενο μέχρι ανθρώπους μεγάλων ηλικιών, με ειδικές ανάγκες και μικρά παιδιά. Τέτοιες εφαρμογές συναντώνται σε οικιακό αυτοματισμό, φορητή τεχνολογία, συσκευές με δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης, παρακολούθησης υγείας και άλλα.

1.2.1 Έξυπνο σπίτι

Η ενσωμάτωση του IoT στο σπίτι έχει περιορίσει σε μεγάλο βαθμό τις χειροκίνητες ενέργειες, έχει μειώσει την κατανάλωση ενέργειας ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιεί τα σοβαρά ατυχήματα. Οι χρήστες αντί να ενεργοποιούν χειροκίνητα μια συσκευή και να υλοποιούν τις ενέργειες που αυτή απαιτεί, οι ενέργειες αυτές μπορούν να γίνουν με το πάτημα ενός κουμπιού. Στις μέρες μας, οι περισσότερες έξυπνες συσκευές οικιακού αυτοματισμού επιτρέπουν τον πλήρη έλεγχο μέσω μιας εφαρμογής ή ακόμη και μέσω φωνητικών εντολών. Για παράδειγμα, χάρη στον έξυπνο φωτισμό υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού για την ώρα και διάρκεια ενεργοποίησης μιας λάμπας σε ένα ή παραπάνω δωμάτια ενώ ταυτόχρονα μπορούν να παρακολουθούνται όλοι οι διακόπτες εξοικονομώντας με αυτό το τρόπο ενέργεια και χρήματα.

1.2.2 Φροντίδα ανθρώπων με ειδικές ανάγκες

Μια πολύ σημαντική έκφανση του οικιακού αυτοματισμού είναι οι εφαρμογές για τους ηλικιωμένους αλλά και τους ανθρώπους με ειδικές ανάγκες. Οι άνθρωποι αυτοί αντιμετωπίζουν καθημερινά αμέτρητες δυσκολίες για την εξυπηρέτησόν τις βασικές τους ανάγκες χωρίς πολλές φορές να τα καταφέρνουν. Χάρη στην ανάπτυξη της τεχνολογίας υπάρχει χρέος να δημιουργούνται και να εξελίσσονται συνέχεια εφαρμογές που θα κάνουν τη ζωή τους λιγότερο επώδυνη. Για παράδειγμα, υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες με

φωνητικές εντολές κλείνουν τα παράθυρα και τις πόρτες καθώς ένας άνθρωπος με κινητικές δυσκολίες δεν έχει αυτή τη δυνατότητα. Επίσης, υπάρχουν πολλές εφαρμογές σε συσκευές όπως smartwatch τα οποία παρακολουθούν τους καρδιακούς παλμούς ενός ανθρώπου και σε περίπτωση που φτάσει σε συγκεκριμένα μη επιτρεπτά όρια ειδοποιείται αυτόματα κάποιο συγγενικό πρόσωπο, γιατρός ή ασθενοφόρο. Τέλος, υπάρχουν έξυπνες συσκευές όπως για παράδειγμα το Google Home το οποίο έχει τη δυνατότητα να υπενθυμίζει σε έναν ηλικιωμένο άνθρωπο τις ώρες που πρέπει να παίρνει συγκεκριμένη αγωγή, τα ραντεβού του με γιατρούς και άλλα. [2]

1.3 Εφαρμογές στην ιατρική και υγειονομική περίθαλψη

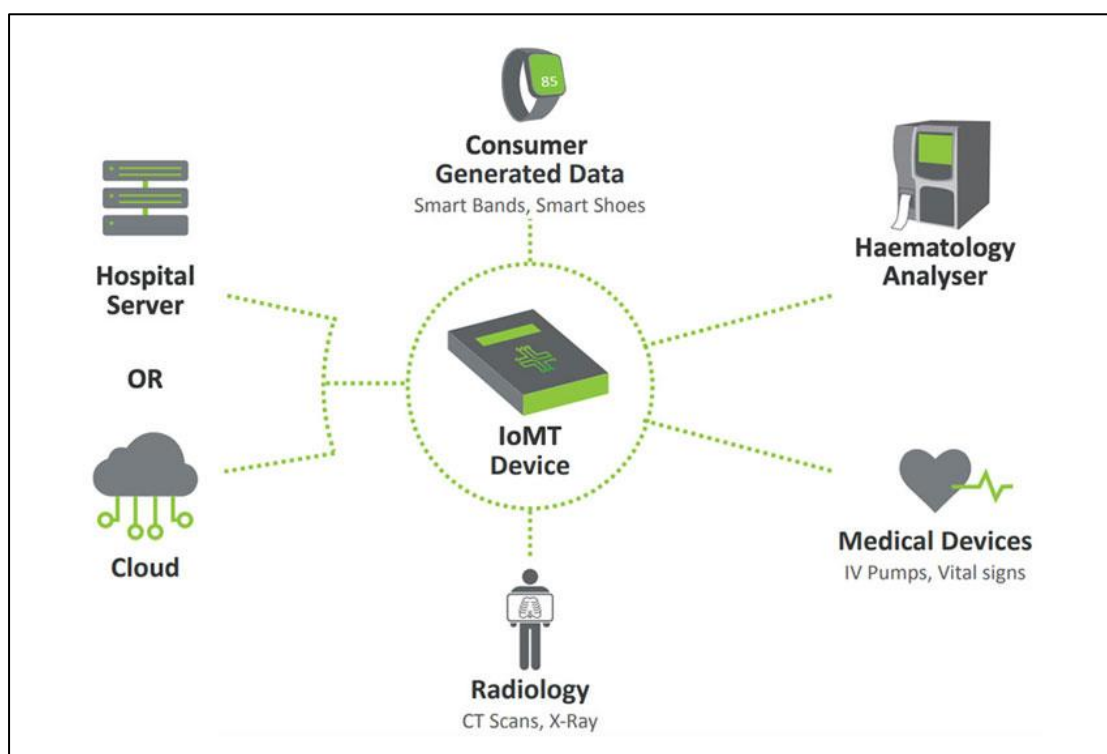
Ένας από τους πιο σημαντικούς χώρους που το διαδίκτυο των πραγμάτων συνεισφέρει έμπρακτα χάρη στις εφαρμογές του είναι εκείνος της ιατρικής. Ο στόχος της ένταξης του διαδικτύου των πραγμάτων στον ιατρική είναι να βελτιώσει στον μεγαλύτερο δυνατό βαθμό τόσο το ιατρικό και νοσηλευτικό προσωπικό όσο και τους ασθενείς είτε βρίσκονται εντός του χώρου του νοσοκομείου είτε έξω από αυτόν. Με τη βοήθεια εξειδικευμένων αισθητήρων, μικροελεγκτών και cloud υπηρεσιών δημιουργούνται εφαρμογές με τις οποίες ένας γιατρός μπορεί να παρακολουθεί την πορεία της ασθένειας ενός ασθενή από τον υπολογιστή ή το κινητό του σε πραγματικό χρόνο χωρίς να είναι απαραίτητες οι συνεχείς επισκέψεις με αποτέλεσμα να εξοικονομείται χρόνος αλλά και να υπάρχει η ακριβής εικόνα των ζωτικών παραγόντων για την ορθή φαρμακευτική αγωγή.

Μία τέτοια έξυπνη συσκευή μπορεί να υπάρχει είτε μέσα σε ένα δωμάτιο νοσοκομείου ή στο σπίτι να μετράει και να μεταφέρει τα δεδομένα στο γιατρό όποτε αυτό κρίνεται απαραίτητο. Οι μετρήσεις γίνονται σε διάφορους παράγοντες ζωτικής σημασίας όπως αυτό της αρτηριακής πίεσης είτε σε ασθενείς που έπαθαν πρόσφατα κάποιο σοβαρό επεισόδιο είτε σε ανθρώπους με μακροχρόνιο ιστορικό. Η παρακολούθηση αυτή πέραν του ότι προσφέρει τη δυνατότητα για τη προσφορά της βέλτιστης αγωγής μειώνει ταυτόχρονα τις εισαγωγές στο νοσοκομείο καθώς εντοπίζονται τα προβλήματα πριν γίνουν σοβαρά.

Επιπλέον, υπάρχουν συσκευές οι οποίες τοποθετούνται στο σώμα ασθενών με συγκεκριμένα θέματα υγείας όπως καρδιακά προβλήματα και διαβήτη. Οι συσκευές αυτές έχουν ως κύριο προτέρημα ότι δεν μπορούν να ξεχαστούν καθώς υπάρχουν εντός του σώματος και είναι προσιτές φορητές συσκευές που μπορεί να αγοράσει ο καθένας για να παρακολουθεί τις μετρήσεις της υγείας του τόσο για προσωπική χρήση όσο και για κοινή χρήση με τους παρόχους υγειονομικής περίθαλψης. Οι συγκεκριμένες κλινικές συσκευές

είναι παρόμοιες με τις καταναλωτικές συσκευές που προαναφέρθηκαν ωστόσο διαθέτουν μεγαλύτερο εύρος επιλογών αισθητήρων.

Τέλος, οι εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων που έχουν αναπτυχθεί για τα νοσοκομεία, τους ιδιωτικούς γιατρούς και τους ασθενείς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από την ευρύτερη κοινωνία. Για παράδειγμα, ένας ναυαγοσώστης μπορεί να χρησιμοποιεί μια αδιάβροχη και εύκολη συσκευή άμεσης κλήσης ασθενοφόρου όπως και επίσης και μέσα στο ασθενοφόρο να αποστέλλονται τα δεδομένα στο νοσοκομείο πριν φτάσει ο ασθενής για να ετοιμαστεί το κατάλληλο χειρουργείο. Τα συστήματα πληροφοριών για την αντιμετώπιση έκτακτων περιστατικών χρησιμοποιούνται από παραϊατρικό προσωπικό και πρώτες βοήθειες για την παρακολούθηση των μετρήσεων των ασθενών εκτός νοσοκομείου. Για παράδειγμα, οι συσκευές point of care μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διανομή φαρμάκων σε ανθρώπους σε περιοχές με περιορισμένη ή καθόλου πρόσβαση σε παραδοσιακές υποδομές.[3]



Εικόνα 2- Internet of Medical Things

1.4 Στρατιωτικές εφαρμογές

Όπως ήταν αναμενόμενο το διαδίκτυο των πραγμάτων επεκτάθηκε και σε στρατιωτικά ζητήματα γνωστό και ως Internet of Battlefield Things (IoBT). Στοχεύει σε ζητήματα που αφορούν την αναγνώριση, επιτήρηση και στόχους σε πεδία μάχης αξιοποιώντας αισθητήρες, πυρομαχικά, ρομπότ, μη επανδρωμένα αεροσκάφη και άλλα. Για

παράδειγμα, Με τη συλλογή δεδομένων από ένα ευρύ φάσμα στρατιωτικών πλατφορμών, συμπεριλαμβανομένων των αεροσκαφών, των οπλικών συστημάτων, των επίγειων οχημάτων και των ίδιων των στρατευμάτων, ο στρατός μπορεί να αυξήσει την αποτελεσματικότητα των συστημάτων πληροφοριών, επιτήρησης και αναγνώρισης. Αυτός ο πλούτος πληροφοριών θα επιτρέψει στις ένοπλες δυνάμεις να εντοπίζουν τις βασικές απειλές ταχύτερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

1.5 Βιομηχανικές εφαρμογές

Οι βιομηχανικές συσκευές IoT δημιουργούνται με σκοπό να εξοικονομήσουν χρόνο και κόστος, να περιορίσουν τις χειρωνακτικές εργασίες και περιττές ποσότητες πρώτων υλών είτε επιβλαβών για το περιβάλλον αερίων. Ταυτόχρονα λειτουργούν με το βέλτιστο δυνατό τρόπο ενώ ταυτόχρονα καλούνται να διασφαλίσουν την αποφυγή σφαλμάτων που καθυστερούν τη γραμμή παραγωγής. Το διαδίκτυο των πραγμάτων βρίσκει εφαρμογή σε κάθε είδους βιομηχανία ενώ τα επόμενα χρόνια η χρήση αισθητήρων και η βιομηχανική αυτοματοποίηση πρόκειται να ενσωματωθούν ακόμα και στις πιο μικρές επιχειρήσεις.

1.6 Εφαρμογές στην παραγωγή

Μία από τις κύριες εφαρμογές σχετίζεται με την αυτοματοποιημένη διαχείριση του εξοπλισμού, επιτρέποντας σε ένα κεντρικό σύστημα να ελέγχει και να παρακολουθεί όλες τις διαδικασίες της εταιρείας. Αυτή η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου του εξοπλισμού μέσω ψηφιακών μηχανημάτων και λογισμικού συνεπάγεται επίσης ότι είναι δυνατός ο έλεγχος πολλών εγκαταστάσεων που βρίσκονται σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες. Αυτό δίνει στις εταιρείες τη δυνατότητα να επιβλέπουν τις εξελίξεις στην παραγωγή τους σε πραγματικό χρόνο, ενώ παράλληλα μπορούν να αναλύουν τα ιστορικά δεδομένα που λαμβάνουν σε σχέση με τις διαδικασίες τους. Στόχος της συλλογής και της χρήσης αυτών των δεδομένων είναι η υποστήριξη της βελτίωσης των διαδικασιών και η δημιουργία ενός περιβάλλοντος όπου οι αποφάσεις που βασίζονται σε πληροφορίες αποτελούν προτεραιότητα.

Μια άλλη είσοδος μεταξύ των σημαντικότερων εφαρμογών είναι η δυνατότητα παρακολούθησης της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων σε οποιοδήποτε στάδιο, δηλαδή από τις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία, στον τρόπο μεταφοράς τους (μέσω εφαρμογών έξυπνης παρακολούθησης), μέχρι τις αντιδράσεις του τελικού πελάτη μόλις παραλάβει το προϊόν. Οι πληροφορίες αυτές είναι ζωτικής σημασίας κατά τη μελέτη της αποδοτικότητας της εταιρείας και την εφαρμογή των απαραίτητων αλλαγών σε περίπτωση που εντοπιστούν αστοχίες, με σκοπό τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών και τον άμεσο εντοπισμό ζητημάτων στην αλυσίδα παραγωγής. Έχει επίσης αποδειχθεί ότι είναι

απαραίτητη για την πρόληψη κινδύνων σε πιο ευαίσθητες βιομηχανίες, όπως η φαρμακευτική ή τροφίμων.

1.7 Έξυπνη Γεωργία

Η έξυπνη γεωργία σηματοδοτεί την πρόοδο της κλασικής γεωργίας συνδυάζοντας πληθώρα τεχνολογιών, αισθητήρων και άλλα. Είναι ένας όρος που αναμένεται να γίνει μία από τις μεγαλύτερες τάσεις στη βιομηχανία τα επόμενα χρόνια λόγω της μεγάλης επιχειρηματικής αποδοτικότητας που προσφέρει αλλά και την αύξηση του πληθυσμού σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή παράγοντες αμφίρροποι μεταξύ τους οι οποίοι όμως πρόκειται να γεφυρωθούν. Η έξυπνη γεωργία εστιάζει στη γεωργία ακρίβειας, στο διαδίκτυο των πραγμάτων και στα μεγάλα δεδομένα (big data).

Τα μεγάλα δεδομένα (big data) πρόκειται να καταστήσουν ολόκληρη την αλυσίδα πιο ανταγωνιστική και κερδοφόρα. Το γεγονός που αξίζει να επισημανθεί είναι ότι τα οφέλη δεν θα επεκτείνονται μόνο σε όσους βρίσκονται σε ανώτατα επίπεδα μιας βιομηχανίας. Πιο συγκεκριμένα, οι αγρότες επωφελούνται από τις αυξημένες γνώσεις και τις ακριβείς συμβουλές που τους παρέχονται. Επιπλέον, οι αυστηρές προδιαγραφές και η ιχνηλασιμότητα, που καθίστανται δυνατές χάρη στη συνδεσιμότητα των δεδομένων, διευρύνουν τα περιθώρια κέρδους σε ολόκληρη την αλυσίδα εφοδιασμού, ενώ παράλληλα ενισχύουν την ποιότητα ώστε να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των τοπικών και διεθνών αγοραστών. Τέλος, η αύξηση των εκροών θα οδηγήσει σε πιο συνεπείς αποδόσεις και αυξημένη κερδοφορία με απώτερο σκοπό την καλύτερη χρήση των πόρων και τις χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι νέες τεχνολογίες διαταράσσουν ήδη τα καθιερωμένα πρότυπα της γεωργίας, με συσκευές που μέχρι πριν λίγα χρόνια ήταν απλησίαστες, οι οποίες είναι πλέον προσβάσιμες και χρησιμοποιούνται τακτικά σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις σε όλο τον κόσμο. Για παράδειγμα, τα ανιχνευτικά μη επανδρωμένα αεροσκάφη ανιχνεύουν τα παράσιτα στο χωράφι ή για ξηρά σημεία που απαιτούν επιπλέον προσοχή. Οι τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία των αισθητήρων δίνουν την ικανότητα στα drones να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν πρόσθετα μήκη κύματος στο φάσμα του φωτός για την αξιολόγηση των καλλιεργειών, εντοπίζοντας ζιζάνια και άρρωστες καλλιέργειες από τον αέρα. [4]

1.7.1 Διαδίκτυο των Πραγμάτων στη Γεωργία

Η αξιοποίηση του διαδικτύου των πραγμάτων από τις αγροτικές συσκευές πρόκειται να γίνει ο κανόνας και όχι η εξαίρεση, καθώς το λογισμικό κινητών συσκευών γίνεται όλο και περισσότερο διαλειτουργικό (δηλαδή διαφορετικές εφαρμογές είναι σε θέση να μοιράζονται και να χρησιμοποιούν τα ίδια σύνολα δεδομένων). Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τον κόμβο των αισθητήρων και από εκεί αποστέλλονται σε gateway και από εκεί στις οθόνες των γεωπόνων και γεωργών βοηθούν στη λήψη ορθών αποφάσεων προκειμένου τα φυτά να καλλιεργούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για την βέλτιστη ανάπτυξη και καρποφορία τους συμπεριλαμβανομένων των έκτακτων μεταβαλλόμενων συνθηκών.

Η δυνατότητα που προσφέρεται δηλαδή αυτή της εξ αποστάσεων παρακολούθησης των ατμοσφαιρικών δεδομένων αλλά και των γεωργικών καλλιεργειών φέρει πολλά προτερήματα. Πιο συγκεκριμένα, εξοικονομείται χρόνος και εργασία καθώς ο γεωργός δεν χρειάζεται να πηγαίνει καθημερινά στο χωράφι για να παρακολουθεί την ανάπτυξη των φυτών ή να ποτίζει καθώς και η διαδικασία αυτή χάρη στο διαδίκτυο των πραγμάτων αυτοματοποιείται. Επιπλέον, δίνεται η δυνατότητα να εξοικονομηθούν χρήματα καθώς κάθε χωράφι πριν φυτευτεί με τη βοήθεια εξειδικευμένων drone με φάσματα μπορούν να περισυλλέξουν πληροφορίες για την ποιότητα του χώματος έτσι ώστε να φυτεύουν οι κατάλληλες ποικιλίες με ελάχιστες αστοχίες.

Η σύνδεση των φυσικών πόρων στις γεωργικές εκμεταλλεύσεις με το διαδίκτυο προωθεί:

- την απομακρυσμένη παρακολούθηση των απαραίτητων για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών παραγόντων όπως θερμοκρασία περιβάλλοντος και υγρασία χώματος ελαττώνοντας σε μεγάλο βαθμό το χρόνο και την εργασία των γεωργών.
- Τη λήψη βέλτιστων αποφάσεων που προκύπτει από την αποθήκευση και την ανάλυση των δεδομένων από τους αισθητήρες για κάθε εποχή και περίσταση.
- Την παρακολούθηση γραφημάτων της αγοράς και ζήτησης των προϊόντων κάθε εποχής σε πραγματικό χρόνο με αποτέλεσμα οι παραγωγοί να καλλιεργούν τα αναγκαία λαχανικά ή φρούτα κάθε στιγμή.
- Στον καλύτερο τρόπο παραγωγής λαχανικών ή φρούτων έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η σπατάλη και να βελτιστοποιείται η ποιότητα και η γεύση έτσι ώστε να καλύπτεται η αγορά και οι καταναλωτές να μένουν ικανοποιημένοι.
- Την συνεχή επαφή με τη τεχνολογία σε ένα επάγγελμα που κατά κόρον δεν είχε καμία επαφή μαζί της και την ανταπόκριση σε νέες τεχνολογίες για την βελτίωση της παραγωγής.[5]



Εικόνα 3- Drone με κάμερες φάσματος [4]

1.7.2 Γεωργία ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας στοχεύει στην παρακολούθηση των εξατομικευμένων αναγκών του κάθε φυτού ξεχωριστά καθώς κάθε οργανισμός είναι μοναδικός ακόμα και αν αναπτύσσονται κάτω από τις παρόμοιες συνθήκες. Ένας αναπτυσσόμενος τομέας της γεωργίας ακριβείας περιλαμβάνει την παρακολούθηση και την ανάλυση δεδομένων που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες, το έδαφος, τα παράσιτα ή τις συνθήκες ενυδάτωσης ενός συγκεκριμένου αγροκτήματος, αγρού ή ακόμη και φυτού για τη λήψη ακριβών και προγνωστικών γεωργικών αποφάσεων.

Η γεωργία ακριβείας επιδιώκει τη χρήση νέων τεχνολογιών για την αύξηση των αποδόσεων και της κερδοφορίας των καλλιεργειών, μειώνοντας παράλληλα τα επίπεδα των παραδοσιακών εισροών που απαιτούνται για την καλλιέργεια (γη, νερό, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και εντομοκτόνα). Με άλλα λόγια, οι αγρότες που αξιοποιούν τη γεωργία ακριβείας χρησιμοποιούν λιγότερα για να καλλιεργήσουν περισσότερα. Οι συσκευές εντοπισμού τοποθεσίας στα τρακτέρ, για παράδειγμα, επιτρέπουν στους αγρότες να φυτεύουν τις καλλιέργειες σε πιο αποδοτικά μοτίβα και να προχωρούν από το σημείο Α στο σημείο Β με μεγαλύτερη ακρίβεια, εξοικονομώντας χρόνο και καύσιμα.

Στη συνέχεια, με την τοποθέτηση κατάλληλων αισθητήρων μετρούνται βασικοί παράμετροι όπως θερμοκρασία, υγρασία που είναι ζωτικής σημασίας για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών. Με τον τρόπο αυτό το κάθε χωράφι ποτίζεται όταν το χρειάζεται και στη ποσότητα που το έχει ανάγκη μειώνοντας ταυτόχρονα τη κατανάλωση νερού. Το

αποτέλεσμα είναι ευεργετικό για τους αγρότες και ενέχει μεγάλες δυνατότητες για να καταστεί η γεωργία πιο βιώσιμη και να αυξηθεί η διαθεσιμότητα τροφίμων.



Εικόνα 4- Precision agriculture field [6]

Μια άλλη πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τη γεωργία ακριβείας είναι η 4 ρομποτική. Από ένα μικρό ρομπότ που έχει σχεδιαστεί για να ενισχύει με λίπασμα τα φυτά με ακρίβεια μέχρι ένα ρομπότ για μαρούλια το οποίο μπορεί να ξεριζώνει τα ζιζάνια. Χάρη στην πρόοδο της επιστήμης αναπτύσσονται συνεχώς πιο ευέλικτα και ικανά ρομπότ με στόχο την πιο αποτελεσματικά τη εργασία η οποία με τις πιο παραδοσιακές μεθόδους γινόταν χειρωνακτικά ή με μεγάλα μηχανήματα. Για παράδειγμα, ο έλεγχος για προβλήματα παρασίτων στα χωράφια με τον συμβατικό τρόπο μπορεί να είναι μια δύσκολη διαδικασία, καθώς οι παγίδες εντόμων πρέπει να παρακολουθούνται, να καθαρίζονται και να επαναφέρονται χειροκίνητα. [7]

1.8 Αρχιτεκτονική του Διαδικτύου των Πραγμάτων

Η αποτύπωση της βασικής αρχιτεκτονικής του διαδικτύου των πραγμάτων είναι πολύ σημαντική για τον σωστό σχεδιασμό ενός έξυπνου συστήματος αλλά και τον εύκολο εντοπισμό προβλημάτων. Παρά το γεγονός ότι κάθε σύστημα που δημιουργείται έχει έναν συγκεκριμένο και διαφορετικό σκοπό από τα υπόλοιπα φαίνεται όλα ακολουθούν την ίδια αρχιτεκτονική η οποία αποτελείται από τρία βασικά επίπεδα.

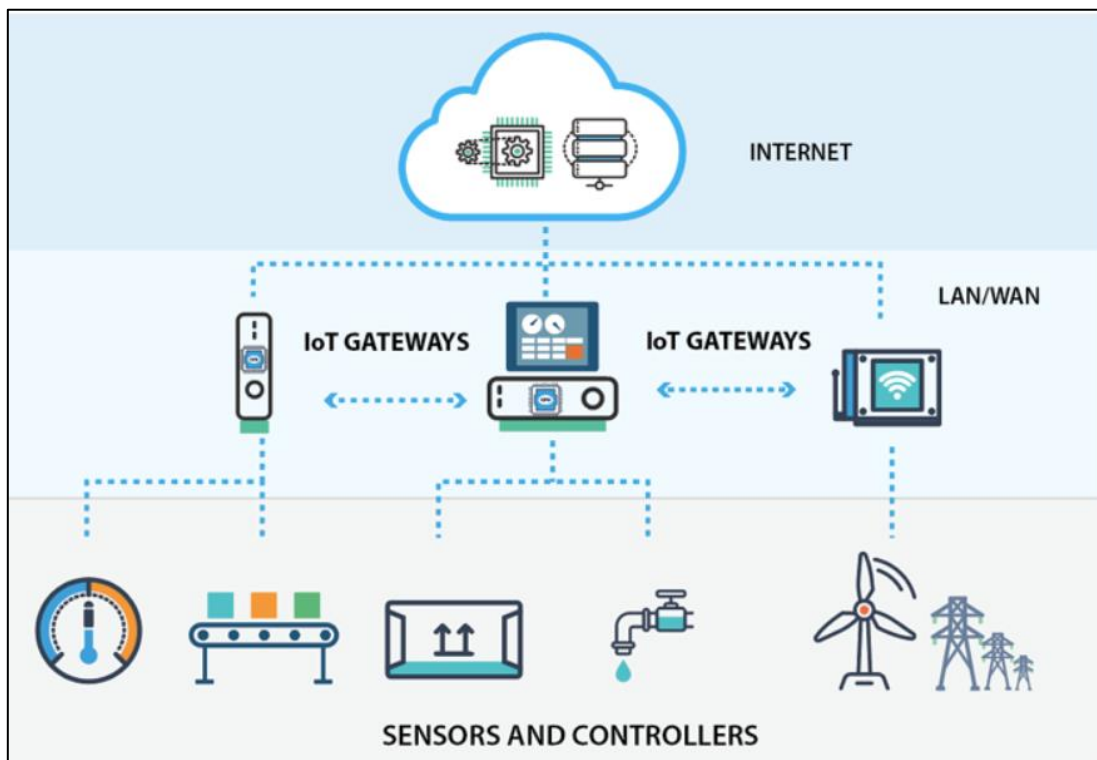
Στο πρώτο επίπεδο της αρχιτεκτονικής υπάρχουν οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές είτε είναι ήδη ενσωματωμένοι στο αντικείμενο ή φυσικό σύστημα είτε τοποθετούνται αργότερα όπως συνέβη και στην παρούσα εργασία. Η πρώτη περίπτωση αποτελεί μια πιο εύκολη λύση καθώς ο χρήστης δεν χρειάζεται να ασχοληθεί με δοκιμές κατάλληλων εξαρτημάτων αφού η ίδια η εταιρία έχει αναλάβει αυτή την ευθύνη ωστόσο συνήθως κοστίζουν περισσότερο και σε περίπτωση βλάβης κάποιου εξαρτήματος δεν είναι τόσο εύκολη η αντικατάσταση του. Στην δεύτερη περίπτωση απαιτείται περισσότερος κόπος ως προς την επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων, την εύρεση κατάλληλων βιβλιοθηκών και την επιλογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων ωστόσο η ευελιξία αυτή μειώνει το κόστος του συστήματος και τον κόπο σε περίπτωση βλάβης.

Επίσης, στο επίπεδο αυτό βρίσκονται και οι ενεργοποιητές οι οποίοι προγραμματίζονται κατάλληλα προκειμένου να εκτελέσουν μια ενέργεια όταν αυτή απαιτηθεί. Για παράδειγμα, αν σε ένα θερμοκήπιο σε κάποια σκανδιναβική χώρα λόγω της περιορισμένης έκθεσης του ηλίου έχουν τοποθετηθεί οι κατάλληλοι αισθητήρες μέτρησης φωτεινότητας στο χώρο και οι μετρήσεις ξεπεράσουν τα ελάχιστα επιτρεπτά όρια που έχουν οριστεί για την υγιή ανάπτυξη των φυτών τότε οι ενεργοποιητές ανάβουν αυτόματα εξειδικευμένες λάμπες και παραμένουν σε αυτή τη κατάσταση μέχρι οι αισθητήρες να αποστείλουν μέτρηση εντός των επιτρεπτών ορίων.

Το δεύτερο επίπεδο της αρχιτεκτονικής είναι εκείνο του δικτύου δηλαδή όλα τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες αποστέλλονται σε gateways τα οποία έχουν την δυνατότητα της ψηφιοποίησης αυτών των δεδομένων και την προετοιμασία αυτών προς επεξεργασία. Σε αυτό το σημείο πρέπει να έχουν επιλεγεί οι σωστοί μικροελεγκτές ή μικροϋπολογιστές τόσο στο επίπεδο του κόμβου των αισθητήρων τόσο και στο επίπεδο του gateway. Για την παραπάνω επιλογή θα πρέπει να έχει οριστεί αν το σύστημα θα περιορίζεται σε point to point επικοινωνία δηλαδή ένας κόμβος αισθητήρων επικοινωνεί αμφίδρομα με ένα gateway ή πολλοί κόμβοι αισθητήρων θα επικοινωνούν με ένα gateway. Επιπλέον, σημαντικό είναι να ληφθεί υπόψη και τα δίκτυα που θα χρησιμοποιηθούν στο εκάστοτε

σύστημα. Για παράδειγμα, αν το σύστημα περιορίζεται για ένα σπίτι τότε η ασύρματη τεχνολογία WiFi είναι μια πολύ καλή λύση αν όμως το σύστημα αφορά την γεωργία τότε σίγουρα πρέπει να αξιοποιηθούν τα ασύρματα δίκτυα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.

Το τρίτο και τελευταίο επίπεδο της αρχιτεκτονικής του διαδικτύου των πραγμάτων αποτελεί το επίπεδο της εφαρμογής δηλαδή σε αυτό το σημείο ο χρήστης είναι σε θέση να αλληλοεπιδρά με το σύστημα και το σύστημα να οπτικοποιεί τα επεξεργασμένα πλέον δεδομένα. Σε αυτό το επίπεδο υπάρχουν και τα edge devices τα οποία είναι υπεύθυνα την περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων με τη βοήθεια της μηχανικής μάθησης αλλά και την ελάφρυνση του φόρτου από το συνολικό και μεγάλο αριθμό δεδομένων που φτάνουν από το gateway στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Τέλος, τα δεδομένα αυτά αφού επεξεργαστούν στη συνέχεια αποθηκεύονται είτε τοπικά είτε σε κάποια υπηρεσία cloud προς μεγαλύτερη ανάλυση και κοινή χρήση δεδομένων με άλλους χρήστες. Επίσης, χάρη στην δημιουργία περιβάλλοντος χρήστη εκτός από τα γραφήματα που απεικονίζονται σε πραγματικό χρόνο μπορούν να σχεδιαστούν και εικονικά εξαρτήματα όπως διακόπτες τα οποία θα επιτελούν κάποια λειτουργία όπως για παράδειγμα το κλείσιμο μίας αντλίας.[8]



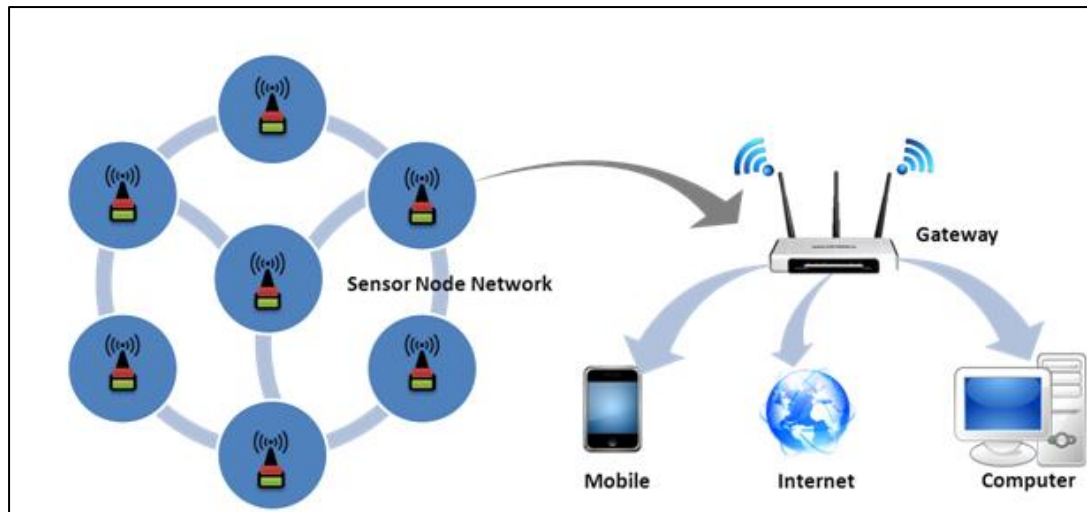
Εικόνα 5- Η βασική αρχιτεκτονική του διαδικτύου των πραγμάτων [8]

Κεφάλαιο 2: Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (Wireless Sensor Network) είναι ένα σύστημα το οποίο έχει σχεδιαστεί για την εξ αποστάσεως παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός συγκεκριμένου φαινομένου ή συμβάντος. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπως για παράδειγμα στη γεωργία για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και τον έλεγχο της άρδευσης. Το WSN έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους παραδοσιακούς αυτόνομους αισθητήρες και ελεγκτές.

- Ειδικότητα ως προς την τοποθεσία: Οι αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στους αγρούς παραγωγής.
- Ειδικότητα στόχου: Οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να προσαρμοστούν ώστε να παρακολουθούν μόνο τις μεταβλητές ενδιαφέροντος, μειώνοντας τον αριθμό των αισθητήρων που αναπτύσσονται και το κόστος του δικτύου.
- Υψηλή χωρική ανάλυση: Μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί κόμβοι για την αύξηση του αριθμού αισθητήρων και ελεγκτών ανά μονάδα επιφάνειας.

Τα WSN αποτελούνται από κόμβους, δρομολογητές και μια πύλη (gateway) όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. Υπάρχουν δύο τύποι κόμβων: κόμβοι αισθητήρων και κόμβοι ενεργοποιητών. Οι δρομολογητές χρησιμοποιούνται για την επέκταση της εμβέλειας επικοινωνίας ή την παράκαμψη ενός εμποδίου. Η πύλη είναι η συσκευή που επιτρέπει τη διαχείριση (έλεγχο) του δικτύου και συγκεντρώνει τις πληροφορίες που λαμβάνονται από τους κόμβους για να στείλει δεδομένα σε πραγματικό ή σχεδόν πραγματικό χρόνο σε μια πλατφόρμα χρήστη. Όταν η πύλη είναι συνδεδεμένη με έναν τοπικό φορητό υπολογιστή, ο χρήστης μπορεί να ελέγχει και να παρακολουθεί τοπικά το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Η προσθήκη ενός μόντεμ κινητού τηλεφώνου ή ενός μόντεμ Διαδικτύου στην πύλη επιτυγχάνει την απομακρυσμένη διαχείριση.



Εικόνα 6- Wireless Sensor Network [9]

Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές που αξιοποιούνται τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι για παρακολούθηση περιοχών, υγειονομικής περίθαλψης, περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως η παρακολούθηση της ποιότητας του νερού. Επιπλέον, αξιοποιούνται και στη βιομηχανία για την παρακολούθηση της υγείας μηχανών, αποβλήτων, παραγωγής οίνου και άλλα. Τέλος, γίνεται χρήση τους και σε στρατιωτικές επιχειρήσεις όπως την ανίχνευση απειλών. Αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος όπως και οι δυνατότητες του κάθε αισθητήρα ποικίλουν με βάση την εκάστοτε εφαρμογή αλλά και τις απαιτήσεις. Όσο αναφορά τα ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται στα ασύρματα δίκτυα υπάρχει εκτενέστερη ανάλυση παρακάτω. [10]

2.1 Ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας

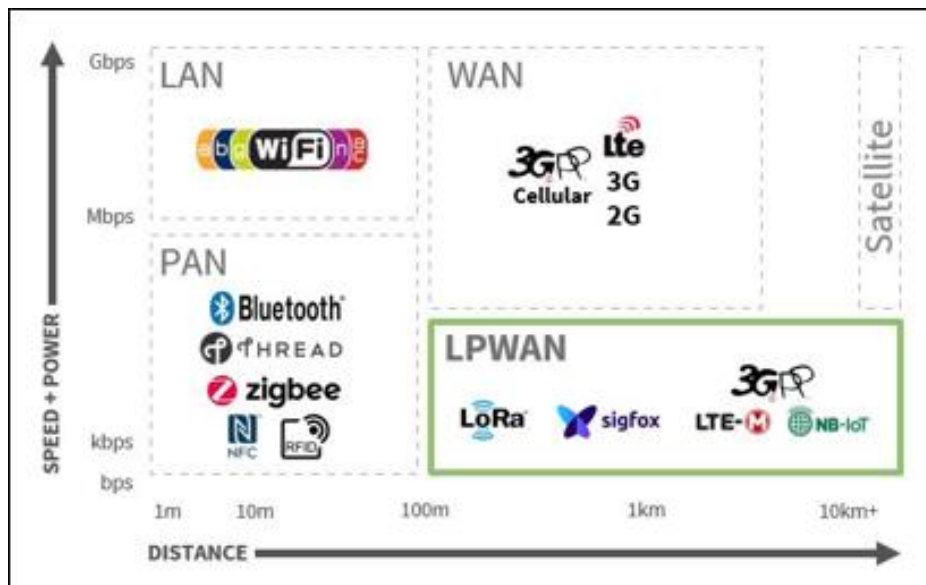
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (Low Power Wireless Access Networks) είναι τεχνολογίες που προσφέρουν εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας αλλά και πολύ μεγαλύτερη εμβέλεια. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά δίκτυα LPWAN που χρησιμοποιούνται σήμερα, αλλά τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα πρότυπα περιλαμβάνουν τα LoRa, SigFox, Weightless, NB-IoT, Ml0Ty.

Σε σύγκριση με το Wi-Fi ή τα δίκτυα 2G, 3G, 4G και LTE τα LPWAN υποστηρίζουν μικρότερες μεταφορές δεδομένων δηλαδή από 10 έως 10.000 data bytes με ταχύτητα έως 200 kbps σε πολύ ευρύτερες περιοχές (από 2 km έως 30 km). Αυτό καθιστά τα LPWANs ιδανικό τύπο δικτύου για εκτεταμένα έργα IoT που καλύπτουν μεγάλη έκταση, όπως η γεωργική διαχείριση, η παρακολούθηση εργοταξίων, η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, η διαχείριση στόλου, η περιβαλλοντική ανίχνευση και οι εφαρμογές Smart City ή υποδομών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, συχνά αποστέλλονται χιλιάδες αισθητήρες σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, οι οποίοι στέλνουν σπάνια μικρά πακέτα δεδομένων. Τα LPWAN μπορούν να διατηρήσουν αυτούς τους τύπους έργων IoT σε λειτουργία για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από ό,τι ασύρματες τεχνολογίες όπως το Bluetooth και το 3G, παρέχοντας ένα δίκτυο αποδοτικής κατανάλωσης ενέργειας, όπου οι μπαταρίες των μικρών συσκευών μπορεί να διαρκούν χρόνια μεταξύ αντικατάστασης ή επαναφόρτισης και όχι εβδομάδες ή μήνες.

Τα LPWAN μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν είτε αδειοδοτημένη είτε μη αδειοδοτημένη ασύρματη συνδεσιμότητα ανάλογα με το τι λειτουργεί καλύτερα σε κάθε δεδομένη κατάσταση. Ουσιαστικά, παρέχει στα άτομα που χρησιμοποιούν LPWANs τη δυνατότητα να προστατεύουν περαιτέρω τα δεδομένα τους από παρεμβολές, δίνοντας τη δική τους ραδιοσυχνότητα για τις δικές τους λειτουργίες. Εξασφαλίζει επίσης ότι οι εξωτερικές παρεμβολές δεν θα οδηγήσουν σε αποτυχίες του δικτύου ή αυξημένες καθυστερήσεις. Αυτό θα μπορούσε να είναι επωφελές για πολύπλοκα έργα που ασχολούνται με ευαίσθητες πληροφορίες, όπως οι στρατιωτικές επιχειρήσεις, ή για έργα που βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην προσεκτική διαχείριση και την αξιόπιστη συνδεσιμότητα, όπως οι ιατρικές και κατασκευαστικές διαδικασίες. Ενώ τα LPWAN ωφελούν ορισμένα έργα IoT, είναι επίσης γνωστό ότι έχουν χαμηλότερη αξιοπιστία και υψηλότερη καθυστέρηση από το Bluetooth, το 3G και άλλες εναλλακτικές λύσεις. Παρόλα αυτά, τα LPWANs επιτρέπουν με επιτυχία την ευδοκίμηση πολλών έργων IoT με την ικανότητά τους να υποστηρίζουν χιλιάδες συσκευές σε μεγάλο εύρος με χαμηλό κόστος ισχύος και δεδομένων.

Ένα LPWAN χρησιμοποιεί τοπολογία αστέρα στην οποία ένας σταθμός βάσης συλλέγει δεδομένα από πολυάριθμους απομακρυσμένους, καταναμημένους τελικούς κόμβους. Με εξαίρεση το κυψελοειδές LPWAN (όπως το NB-IoT), η σύνδεση μεταξύ των τελικών κόμβων και του σταθμού βάσης είναι μη-TCP/IP για να αποφεύγονται οι βαριές επικεφαλίδες πακέτων. Μετά τη λήψη και την αποδιαμόρφωση των μηνυμάτων, ο σταθμός βάσης τα αναμεταδίδει στον κεντρικό διακομιστή μέσω μιας τυπικής σύνδεσης TCP/IP backhaul (Ethernet). Για τις δημόσιες υπηρεσίες LPWAN, τα δεδομένα πρέπει να δρομολογούνται μέσω του διακομιστή των φορέων εκμετάλλευσης του δικτύου προτού φθάσουν στις εφαρμογές του τελικού χρήστη, ενώ στα LPWAN με ιδιωτική διαχείριση, τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν απευθείας στο back-end που προτιμά ο χρήστης για πλήρη προστασία της ιδιωτικής ζωής και έλεγχο των δεδομένων.

Η ελκυστικότητα του LPWAN απορρέει από τα δύο χαρακτηριστικά που το χαρακτηρίζουν και τα οποία αποτελούσαν συμβιβασμό στις παραδοσιακές τεχνολογίες: μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ενώ το Wi-Fi και το Bluetooth μπορούν να επικοινωνούν μόνο σε απόσταση δεκάδων ή εκατοντάδων μέτρων στην καλύτερη περίπτωση, ένα LPWAN είναι σε θέση να μεταδίδει σήματα έως και 15 km σε αγροτικές περιοχές και έως και 5 km σε αστικές, δομικά πυκνές περιοχές. [11]



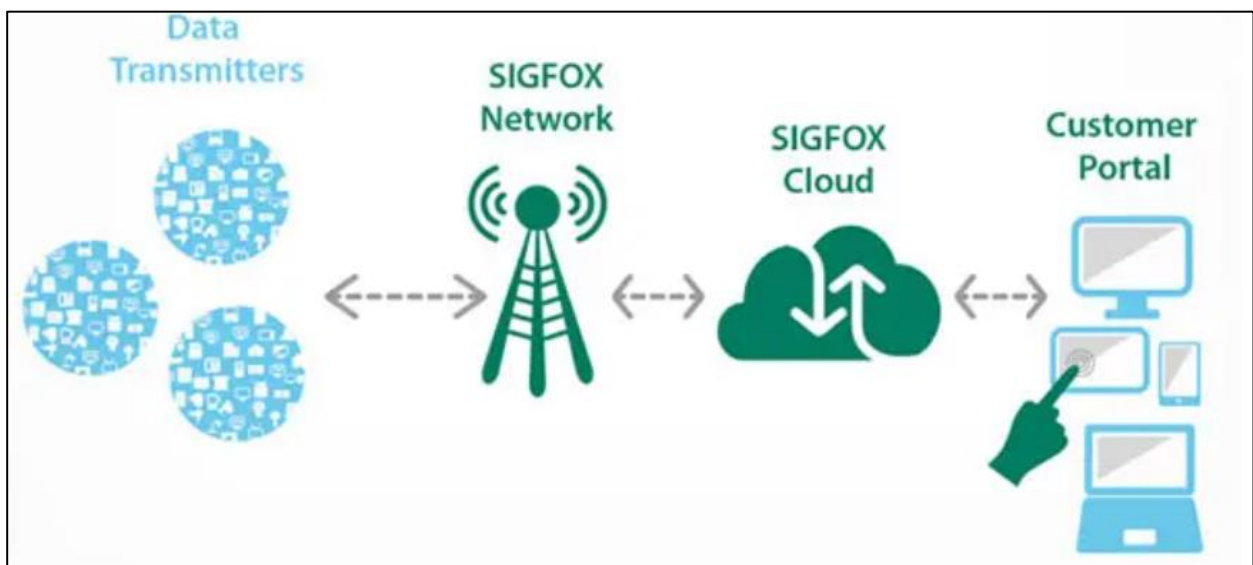
Εικόνα 7- Σύγκριση ασύρματων πρωτόκολλων επικοινωνίας [12]

2.2 LPWAN τεχνολογίες

2.2.1 SigFox

Το SigFox είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος. Το συγκεκριμένο δίκτυο υπάγεται στα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας επομένως προσφέρει με τη σειρά του μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας σε αντίθεση για παράδειγμα με το ασύρματο δίκτυο WiFi που παρέχει τα αντίθετα. Είναι ένα δίκτυο που χρησιμοποιείται σε project που αφορούν την έξυπνη γεωργία καθώς δεν απαιτείται μεγάλη ποσότητα δεδομένων καθώς σε διαφορετική περίπτωση δεν θα μπορούσε να αξιοποιηθεί.

Η βασική αρχιτεκτονική του όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα είναι αρκετά παρόμοια με τα υπόλοιπες LPWAN τεχνολογίες δηλαδή πλήθος έξυπνων συσκευών στέλνουν δεδομένα σε gateways και εκείνα με τη σειρά τους τα αποστέλλουν σε κάποιο Sigfox cloud όπου υπόκεινται στις απαραίτητες επεξεργασίες με τελικό προορισμό ηλεκτρονικούς υπολογιστές και κινητά χρηστών οι οποίοι είναι σε θέσει να αλληλεπιδρούν με το σύστημα. Οι βασικές διαφορές του συγκεκριμένου δικτύου με τις υπόλοιπες LPWAN τεχνολογίες βρίσκεται στον τρόπο αποστολής δεδομένων και στις ηλεκτρικές οδηγίες τα οποία τελικά είναι και αυτά που καθορίζουν τη ταχύτητα και τη ποσότητα των μηνυμάτων. [13]



Εικόνα 8- Δίκτυο SigFox [13]

2.2.2 NB-IoT

Το Narrowband IoT ή NB-IoT είναι ένα πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας για το Διαδίκτυο των πραγμάτων στις διάφορες μορφές του. Το NB-IoT ανήκει στην κατηγορία των δικτύων ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN), επιτρέποντας τη σύνδεση συσκευών που χρειάζονται μικρές ποσότητες δεδομένων, χαμηλό εύρος ζώνης και μεγάλη διάρκεια

ζωής της μπαταρίας. Οι πιο συχνές εφαρμογές του διαδικτύου των πραγμάτων που αξιοποιείται το συγκεκριμένο δίκτυο είναι οι εξής:

- Σε εφαρμογές που λαμβάνουν μετρήσεις σε μεγάλες αποστάσεις που αφορούν το νερό όπως για παράδειγμα δεξαμενές.
- Αξιοποιείται σε υπηρεσίες που είναι υπεύθυνες για την εύρυθμη λειτουργία εγκαταστάσεων.
- Σε εφαρμογές διασφάλισης ασφάλειας από διαρρήξεις αλλά και πυρκαγιές με τη βοήθεια των κατάλληλων αισθητήρων.
- Συναντάται και στο διαδίκτυο των ιατρικών πραγμάτων με τη χρήση συσκευών από τους ίδιους τους ασθενείς από συσκευές όπως έξυπνα ρολόγια για μετρήσεις βασικών παραμέτρων.
- Στο πλαίσιο ανάπτυξης εφαρμογών των έξυπνων πόλεων για μέτρηση παραδείγματος χάρη της χωρητικότητας των άδων απορριμμάτων.
- Σε βιομηχανικό επίπεδο για την επικοινωνία μεταξύ βιομηχανικών μηχανημάτων.
- Πιθανά εμπόδια.

Το NB-IoT έχει τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας. Ο πρώτος είναι να λειτουργεί ανεξάρτητα δηλαδή με δικές του ραδιοσυχνότητες, σταθμούς βάσεις, κεραιές και άλλα τεχνική η οποία ανεβάζει το κόστος της εκάστοτε εφαρμογής. Ο δεύτερος είναι να λειτουργεί σε αχρησιμοποίητες ζώνες 200 kHz που έχουν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως για το GSM (Παγκόσμιο σύστημα κινητών επικοινωνιών). Τελευταίος τρόπος είναι σε σταθμούς βάσης LTE που διαθέτουν πόρους δικτύων για λειτουργίες NB-IoT ή στις ζώνες προστασίας τους. Τηλεπικοινωνιακοί κολοσσοί όπως η Huawei, η Ericsson, η Qualcomm και η Vodafone έχουν συγκροτήσει συλλογικά αυτό το πρότυπο. [14]



Εικόνα 9- Το λογότυπο του NB-IoT [15]

2.2.3 MIoTy

Το MIoTy είναι ένα πρωτόκολλο δικτύου το οποίο υπάγεται στα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε προκειμένου να βρει εφαρμογές σε βιομηχανικό επίπεδο του διαδικτύου των πραγμάτων επομένως για τον λόγο αυτό δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο σε εκπαιδευτικό και ατομικό επίπεδο. Το εν λόγω ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας έχει εμβέλεια έως 20 χιλιόμετρα σε ύψαιθρο και αποτελεί μια από τις καλύτερες λύσεις στη κατηγορία του.

Η κύρια διαφορά της τεχνολογίας του που το καθιστούν τόσο αποδοτικό είναι το γεγονός ότι κάθε μήνυμα που αποστέλλεται διαιρείται σε μικρότερα πακέτα τα οποία με τη σειρά τους στέλνονται σε διαφορετικούς χρόνους και συχνότητες και τελικά το μήνυμα φτάνει στον τελικό του προορισμό χωρίς να χάνονται ή να μπερδεύονται τα μικρότερα αυτά πακέτα. Επιπλέον, δεδομένου ότι ο χρόνος εκπομπής αυτών των υποπακέτων είναι πολύ μικρότερος από αυτόν των υφιστάμενων LPWAN, η πιθανότητα σύγκρουσης με άλλο μήνυμα είναι πολύ μικρή. Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι η πρώτη και μοναδική τεχνολογία που συμμορφώνεται με την τεχνική προδιαγραφή TS-UNB (TS-UNB) του ETSI για δίκτυα χαμηλής απόδοσης (TS 103 357).

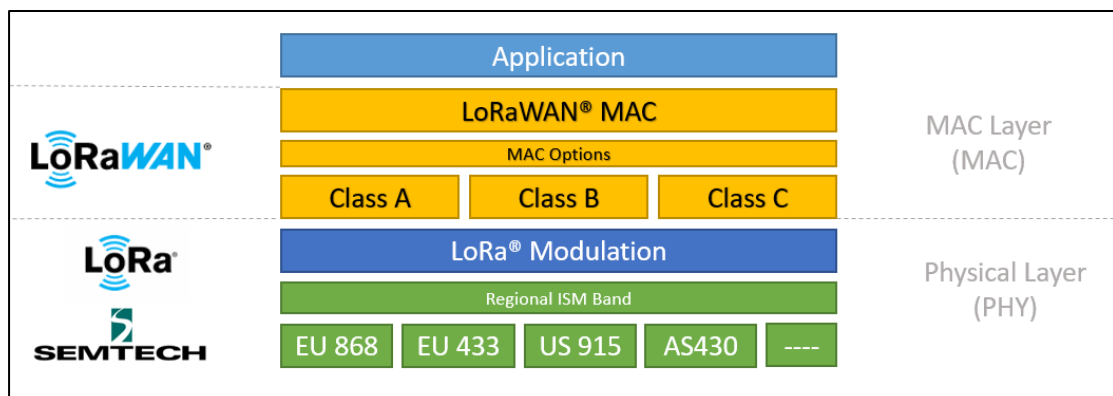
Το MIOTY είναι το μοναδικό πρωτόκολλο Massive IoT που συμμορφώνεται με το ETSI και ξεπερνά τους περιορισμούς των κοινών λύσεων LPWAN καθώς έχει τη δυνατότητα ένα μόνο gateway σε καθημερινή βάση να συλλέγει σε καθημερινή βάση πολύ μεγάλο αριθμό δεδομένο, της κλίμακας των εκατομμύριων. Με τις καλά σχεδιασμένες εφαρμογές οι βιομηχανίες είναι σε θέση να επικοινωνούν αμφίδρομα με συστήματα που είναι εγκατεστημένα χιλιόμετρα μακριά και να λειτουργούν εύρυθμα και αρμονικά. [16]



Εικόνα 10- Το λογότυπο του MIoTy [16]

2.2.4 LoRa και LoRaWAN

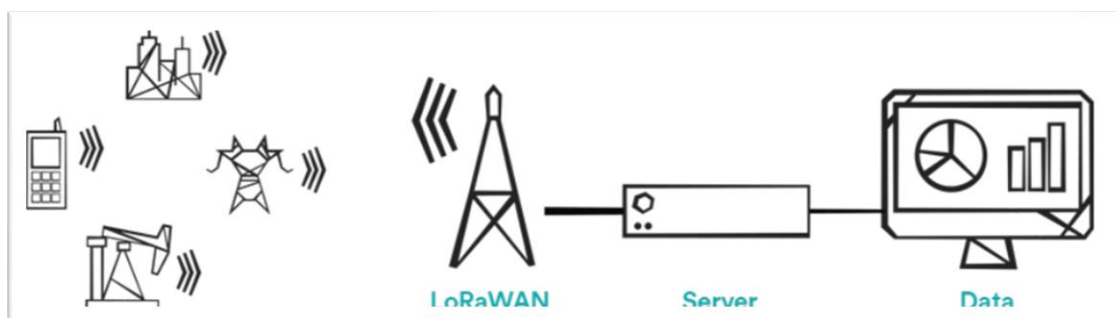
Το *LoRa (Long Range)* είναι μια τεχνική διαμόρφωσης φάσματος διασποράς που προέρχεται από την τεχνολογία *chirp spread spectrum (CSS)* και υπάγεται στις τεχνολογίες *LPWAN*. Οι συσκευές *LoRa* της *Semtech* και η ασύρματη τεχνολογία ραδιοσυχνοτήτων είναι μια ασύρματη πλατφόρμα μεγάλης εμβέλειας, χαμηλής ισχύος που συνδέεται άρρηκτα με το διαδίκτυο των πραγμάτων παγκοσμίως. Με άλλα λόγια, το *LoRa* είναι ένα σήμα φορέα ραδιοσυχνοτήτων που βασίζεται στο φυσικό επίπεδο (*physical layer*) της συσκευής τηλεπικοινωνιών. Με τη χρήση μόντεμ *LoRa* δίνεται η δυνατότητα να μετατρέψει τα δεδομένα του χρήστη σε αυτό το σήμα. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης *CSS* το *LoRa* έχει τη δυνατότητα διαφοροποίησης ανάλογα με το μήνυμα που μεταφέρει. Χρησιμοποιεί επίσης ολόκληρο το εύρος ζώνης του καναλιού για μετάδοση, επιτρέποντάς του να είναι πιο ανθεκτικό στις αντισταθμίσεις θορύβου και συχνότητας. Το *LoRa* είναι γνωστό ότι βελτιώνει την ευαισθησία του δέκτη και έχει αυξημένο εύρος επικοινωνίας για τη μετάδοση δεδομένων - καλύπτοντας έως και περίπου 20 χιλιόμετρα σε καλές συνθήκες. Αυτό το καθιστά ιδανικό για λύσεις στη γεωργία, στα έξυπνα σπίτια, τις έξυπνες πόλεις, τη βιομηχανία, τις εφοδιαστικές αλυσίδες και άλλα.



Εικόνα 11- LoRa and LoRaWAN Layers [17]

Το *LoRaWAN* είναι μια προδιαγραφή δικτύων χαμηλής ισχύος, ευρείας περιοχής (*LPWAN*). Όσον αφορά τα επίπεδα OSI, ανήκει στο επίπεδο 2 (δίκτυο). Αυτό είναι γνωστό ως *MAC*. Δηλαδή, το *LoRaWAN* είναι υπεύθυνο για τη συμμετοχή σε διάφορες συσκευές *LoRa* που διαχειρίζονται τα κανάλια τους και τις παραμέτρους σύνδεσης όπως το κανάλι, το εύρος ζώνης, την κρυπτογράφηση δεδομένων και άλλα. Το *LoRaWAN* βασίζεται σε μια προσέγγιση ανοιχτού πρωτοκόλλου που διαχειρίζεται η *LoRa Alliance*, η οποία επιβλέπει την ανάπτυξη του προτύπου και διασφαλίζει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ όλων των δικτύων *LoRaWAN*.

Επιπλέον, παρέχει επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας (έως 15 χλμ.) μεταξύ αισθητήρων και σταθμών βάσης, με αποτέλεσμα δίκτυα με 2-3 φορές λιγότερους σταθμούς βάσης σε σύγκριση με το κινητό. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η πλήρως αμφίδρομη επικοινωνία επιτρέπει μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων χρήσεων που απαιτούν ανερχόμενους συνδέσμους και κατερχόμενους συνδέσμους: για παράδειγμα, φωτισμό δρόμου, έξυπνη άρδευση, βελτιστοποίηση ενέργειας ή αυτοματισμό σπιτιού. Μεταξύ των LPWAN τεχνολογιών προτείνεται η χρήση του LoRa (Long Range) μιας και οι περισσότερες από τις λοιπές τεχνολογίες (LTE-M, NB-IOT κτλ.) απαιτούν την ύπαρξη και διαμεσολάβηση του δικτύου κυψελών της κινητής τηλεφωνίας. [17]



Εικόνα 12- Οπτικοποίηση διαλειτουργικότητας του πρωτοκόλλου LoRaWAN [18]

2.2.5 Weightless

Η Weightless είναι ένας από τους πολλούς βιώσιμους παίκτες στο χώρο των δικτύων χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής (LPWAN). Στο εν λόγω πρωτόκολλο μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης ενέργεια έχουν δημιουργηθεί τρία διαφορετικά πρωτόκολλα στα οποία το κάθε ένα χρησιμοποιείται για διαφορετικές απαιτήσεις και εφαρμογές και φέρουν τα ονόματα Weightless-N, Weightless-W και Weightless-P.

Weightless-W

Το Weightless-W έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στο φάσμα του τηλεοπτικού λευκού χώρου (TV white space-TVWS). Το Weightless-W είναι ένα παρακλάδι αυτού που προσπαθούσε να αναπτύξει η Neul πριν εξαγοραστεί από τη Huawei. Η χρήση του TVWS είναι θεωρητικά ελκυστική, επειδή εκμεταλλεύεται το καλό φάσμα υπερυψηλών συχνοτήτων που δεν χρησιμοποιείται διαφορετικά. Σε θεωρητικό επίπεδο το πρωτόκολλο αυτό είναι πολλά υποσχόμενο ωστόσο όμως σε πρακτικό επίπεδο εμφανίζει αρκετά τρωτά σημεία. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν προβλήματα ανάμεσα στο TVWS και σε έργα του διαδικτύου των πραγμάτων γεγονός που δεν διευκολύνει τη χρήση του. Επιπλέον, υπάρχουν προβλήματα ανάμεσα στις συχνότητες που εκπέμπουν οι αρχικοί και τελικοί κόμβοι λόγω κεραιών.

Συνοπτικά το συγκεκριμένο πρωτόκολλο χρήζει διαμορφώσεων προκειμένου να αρχίζει να γίνεται πιο λειτουργικό.

Weightless-N

Το Weightless-N είναι ένα σύστημα εξαιρετικά στενής ζώνης που μοιάζει πολύ με το SigFox. Μπορείτε να το θεωρηθεί ως μια έκδοση του SigFox με βάση τη LoRa Alliance. Αντί να είναι ένα πλήρες κλειστό σύστημα από άκρη σε άκρη, αποτελείται από ένα δίκτυο συνεργατών. Χρησιμοποιεί τον ίδιο τύπο διαμόρφωσης σε κανάλια στενής συχνότητας. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο αξιοποιείται συνήθως σε εφαρμογές που συμπεριλαμβάνουν αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας, αισθητήρες μέτρησης όγκου νερού και άλλα.

Weightless-P

Το Weightless-P είναι η πιο πρόσφατη τεχνολογία Weightless. Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο που έχει πολλές βελτιώσεις σε σχέση με τα δύο προγενέστερά του γεγονόσ που σημαίνει ότι ικανοποιούνται οι προσδοκίες των χρηστών. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο έχει εμβέλεια έως και 2 χιλιόμετρα σε αστικό περιβάλλον, προσφέρει λύσεις εξαιρετικά χαμηλού κόστους ιδιαίτερα αν συγκριθεί με άλλες LPWAN τεχνολογίες και έχει πάρα πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας ιδιαίτερα τις στιγμές που το σύστημα καλείται να είναι αδρανοποιημένο. Το Weightless-P είναι ιδανικό για ιδιωτικά δίκτυα, πιο εξελιγμένες περιπτώσεις χρήσης και πράγματα όπου τόσο τα δεδομένα άνω ζεύξης όσο και ο έλεγχος κάτω ζεύξης είναι σημαντικά. [19]



Εικόνα 13- Το λογότυπο του Weightless [19]

2.2.6 ZigBee

Το Zigbee είναι μια ασύρματη τεχνολογία που αναπτύχθηκε ως ανοικτό παγκόσμιο πρότυπο για την αντιμετώπιση των μοναδικών αναγκών των ασύρματων δικτύων IoT χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. Το πρότυπο Zigbee λειτουργεί με βάση τις φυσικές ραδιοπροδιαγραφές IEEE 802.15.4 και λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες, συμπεριλαμβανομένων των 2,4 GHz, 900 MHz και 868 MHz.

Το πρωτόκολλο Zigbee έχει δημιουργηθεί και επικυρωθεί από τις εταιρείες-μέλη της Zigbee Alliance και σχεδιάστηκε για να παρέχει μια εύχρηστη λύση ασύρματων δεδομένων που χαρακτηρίζεται από ασφαλείς, αξιόπιστες αρχιτεκτονικές ασύρματων δικτύων. Το Zigbee επιτρέπει την ευρεία ανάπτυξη ασύρματων δικτύων με λύσεις χαμηλού κόστους και χαμηλής ισχύος. Παρέχει τη δυνατότητα λειτουργίας για χρόνια με φθηνές μπαταρίες για πλήθος εφαρμογών παρακολούθησης και ελέγχου. Μερικοί από τους πολλούς χώρους όπου η τεχνολογία Zigbee σημειώνει σημαντική πρόοδο είναι στην έξυπνη ενέργεια, έξυπνο δίκτυο, αυτόματη ανάγνωση μετρητών, έλεγχοι φωτισμού, συστήματα αυτοματισμού κτιρίων, παρακολούθηση δεξαμενών, ιατρικές συσκευές και εφαρμογές στόλου. [20]



Εικόνα 14- Το λογότυπο του zigbee [20]

2.2.7 Wi-Fi

Το Wi-Fi είναι μια τοπική ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει σε μια ηλεκτρονική συσκευή να ανταλλάσσει δεδομένα ή να συνδέεται στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα. Πρόκειται για μια τεχνολογία η οποία δεν υπάγεται στις LPWAN τεχνολογίες που αναλύθηκαν παραπάνω καθώς η εμβέλεια του είναι περιορισμένη και η κατανάλωση ισχύος υψηλή. Η εταιρία Wi-Fi Alliance θεωρεί Wi-Fi ως κάθε προϊόν ασύρματου τοπικού δικτύου (Wireless LAN-WLAN) που βασίζεται στα πρότυπα 802.11 του Ινστιτούτου Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (IEEE). Ωστόσο, δεδομένου ότι τα περισσότερα σύγχρονα WLAN βασίζονται σε αυτά τα πρότυπα, ο όρος "Wi-Fi" χρησιμοποιείται στη γενική αγγλική γλώσσα ως συνώνυμο του "WLAN". Μόνο τα προϊόντα Wi-Fi που ολοκληρώνουν επιτυχώς τις δοκιμές πιστοποίησης διαλειτουργικότητας της Wi-Fi Alliance μπορούν να χρησιμοποιούν το εμπορικό σήμα "Wi-Fi CERTIFIED".

Στις μέρες μας είναι πλέον αδιαμφισβήτητο ότι οι περισσότερες συσκευές ενός σπιτιού έχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης της ασύρματης τεχνολογίας Wi-Fi. Πέραν από τις

συνήθεις ηλεκτρονικές συσκευές όπως υπολογιστές, smartphones και tablets τα σύγχρονα σπίτια διαθέτουν κλιματιστικά, ψυγεία, φούρνους και άλλες οικιακές συσκευές οι οποίες έχουν εξίσου την δυνατότητα σύνδεσης Wi-Fi. Η εμβέλεια της παρούσας τεχνολογίας επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες για αυτό και σε ένα γενικό πλαίσιο μπορούμε να πούμε ότι σε εσωτερικούς χώρους μπορεί να φτάσει περίπου τα 15 μέτρα και αρκετά περισσότερα σε εξωτερικούς. Η κάλυψη του hotspot μπορεί να περιλαμβάνει μια περιοχή τόσο μικρή όσο ένα μόνο δωμάτιο με τοίχους που εμποδίζουν τα ραδιοκύματα, ή τόσο μεγάλη όσο πολλά τετραγωνικά χιλιόμετρα που επιτυγχάνεται με τη χρήση πολλαπλών επικαλυπτόμενων σημείων πρόσβασης. [21]



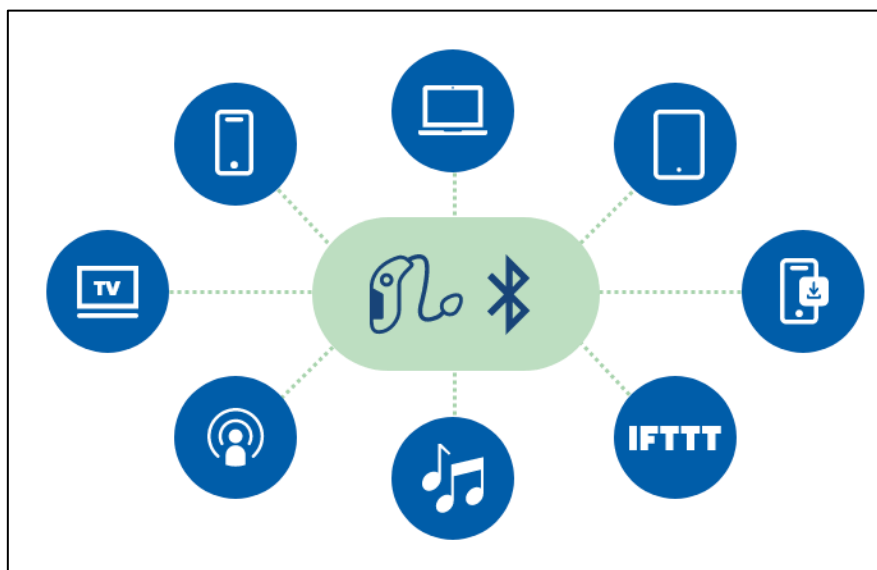
Εικόνα 15- WiFi logo [22]

2.2.8 Bluetooth

Η τεχνολογία Bluetooth είναι μια τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών μικρής εμβέλειας που με τη σειρά της ούτε εκείνη ανήκει στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Η εν λόγω ασύρματη τεχνολογία αυτή απάλλαξε τους ανθρώπους από αρκετά καλώδια όπως εκείνα των ακουστικών, του ποντικιού και άλλα διατηρώντας όμως το ίδιο άρτιο αποτέλεσμα με ελάχιστους ή μηδενικούς θορύβους.

Ο πομποδέκτης RF του Bluetooth λειτουργεί στο ίδιο εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται από το Wi-Fi. Η βασική αρχιτεκτονική αποτελείται από έναν πομποδέκτη ο οποίος εναλλάσσει συχνότητες με σκοπό να παρεμποδίσει τις παρεμβολές και της εξασθένισης προκειμένου το σήμα να φτάνει αυτούσιο από τη μία συσκευή στην άλλη. Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth λειτουργεί με τη βοήθεια της τοπολογίας του αστέρα. Πιο αναλυτικά ένα σύνολο συσκευών αποτελείται από έναν master και έως οχτώ slaves. Δηλαδή

το φυσικό κανάλι μοιράζεται από μια ομάδα συσκευών που συγχρονίζονται σε ένα κοινό μοτίβο ρολογιού και εναλλαγής συχνοτήτων, με την κύρια συσκευή να παρέχει τις αναφορές συγχρονισμού. [23]



Εικόνα 16- Συνδεσιμότητες του Bluetooth [23]

2.2.9 5G

Το 5G είναι το κυψελοειδές δίκτυο πέμπτης γενιάς, όπως ορίζεται επίσημα από παγκόσμιους οργανισμούς τυποποίησης. Το δίκτυο 5G ήρθε για να φέρει την επανάσταση στην παγκόσμια κοινότητα σε σύγκριση με τα δίκτυα των προηγούμενων ετών. Με μία πρώτη ματιά ίσως φαίνεται αρκετά παρόμοιο με τον προκάτοχό του δηλαδή το δίκτυο 4G ωστόσο το 5G φέρει μεγάλη διαφορά στην ταχύτητα, την εμβέλεια και τις συχνότητες.

Ο επίσημος ορισμός του 5G καθορίζει υψηλότερες ταχύτητες και χαμηλότερη λανθάνουσα κατάσταση δηλαδή ο χρόνος καθυστέρησης μεταξύ της στιγμής που μια συσκευή ζητά πληροφορίες και της στιγμής που τις λαμβάνει. Το δίκτυο χρησιμοποιεί ραδιοκύματα υψηλότερης συχνότητας επιπλέον του φάσματος των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται ήδη και λειτουργεί με μικρότερα, πιο στενά κατανεμημένα σημεία ασύρματης πρόσβασης αντί για μεγάλους, διασκορπισμένους πύργους κινητής τηλεφωνίας. Το 5G θα πρέπει να επιτρέψει υψηλότερη συνδεσιμότητα - δηλαδή περισσότερες συσκευές συνδεδεμένες σε ένα δίκτυο - και σημαντικά υψηλότερες ταχύτητες λήψης. Η ταχύτητα δεν είναι όμως η μόνη βελτίωση. Μία από τις πιο εντυπωσιακές και πρωτοπόρες εφαρμογές που

πραγματοποιούνται με τη βοήθεια του δικτύου 5G είναι εκείνη της ρομποτικής χειρουργικής. Ο χειρουργός ιατρός έχει τη δυνατότητα από το σπίτι του να έχει πλήρη έλεγχο των ρομποτικών βραχιόνων σε πραγματικό χρόνο με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες με αποτέλεσμα να εκμηδενίζονται οι αποστάσεις και να ανοίγουν νέοι ορίζοντες στον χώρο της ιατρικής. [24]

Κεφάλαιο 3: Κυβερνοφυσικά Συστήματα

Τα κυβερνοφυσικά συστήματα είναι ένα μείγμα υπολογισμού, δικτύωσης και φυσικών διεργασιών, στα οποία οι ενσωματωμένοι υπολογιστικοί αλγόριθμοι και τα δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν και να ελέγχουν τα φυσικά στοιχεία. Χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό μηχανών, αισθητήριων συσκευών, ενσωματωμένης υπολογιστικής νοημοσύνης και διαφόρων μηχανισμών επικοινωνίας, τα κυβερνοφυσικά συστήματα παρακολουθούν τα φυσικά στοιχεία με αλγορίθμους βασισμένους σε υπολογιστή που συνδέονται με το διαδίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι είναι σε θέση να λειτουργούν αυτόνομα με βάση το φυσικό τους περιβάλλον.

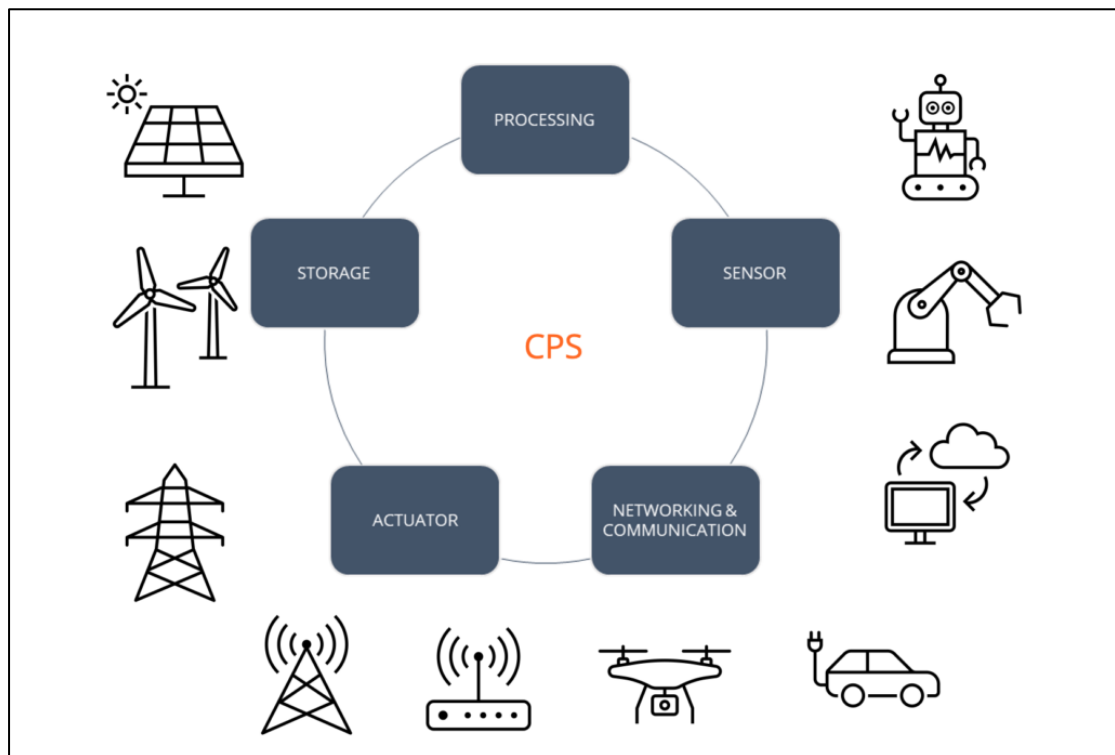
Λαμβάνοντας υπόψη των εξελίξεων στην ανάλυση, την τεχνητή νοημοσύνη και τις επικοινωνίες, υπάρχει αυξημένη ζήτηση για έξυπνες μηχανές που μπορούν να αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον γύρω τους, όπως τα αυτοκίνητα χωρίς οδηγό που παρακολουθούν και επικοινωνούν με το περιβάλλον τους και οι έξυπνες συσκευές που βελτιστοποιούν την κατανάλωση ενέργειας. Επιπλέον, διεγείρουν σημαντικές αλλαγές στην ποιότητα ζωής και αποτελούν τη βάση για έξυπνες υποδομές, προϊόντα και υπηρεσίες.

Καθώς αυτού του είδους η τεχνολογία συνεχίζει να ενσωματώνεται όλο και περισσότερο στην καθημερινή μας ζωή, μερικοί τομείς αναμένεται να έρθουν στο προσκήνιο. Πιο συγκεκριμένα, η νοημοσύνη σμήνους είναι ένας αναδυόμενος τομέας της τεχνητής νοημοσύνης που συνδυάζει τη δύναμη πολλών μυαλών σε ένα, επιτρέποντας στο συνολικό σύστημα να είναι πιο έξυπνο, πιο γρήγορο, πιο διορατικό και δημιουργικό. Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός συστήματος σμήνους περιλαμβάνουν την αυτονομία, την ευελιξία, τη συνεργασία, την επεκτασιμότητα και τον αποκεντρωμένο έλεγχο. Η έλευση δικτύων επικοινωνίας όπως το 5G θα αποτελέσει τη θεμελιώδη υποδομή για τις δυνατότητες του σμήνους, επιτρέποντας την απρόσκοπτη αλληλεπίδραση και τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των μελών του σμήνους.

Το απτικό διαδίκτυο προβλέπεται να είναι η επόμενη γενιά συνδεσιμότητας που θα επιτρέπει απομακρυσμένες φυσικές αλληλεπιδράσεις σε πραγματικό χρόνο μέσω δικτύων. Μόλις αναπτυχθεί πλήρως, θα έχει μετασχηματιστικό αντίκτυπο στην επικοινωνία και στην ανθρώπινη εμβέλεια ευρύτερα. Για παράδειγμα, η εξ αποστάσεως χειρουργική με τη χρήση ρομποτικά ελεγχόμενων εργαλείων θα μπορούσε να χρησιμοποιείται τακτικά από τους χειρουργούς, πράγμα που σημαίνει ότι η πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη θα εξαρτάται λιγότερο από την τοποθεσία.

Για να γίνουν πραγματικότητα αυτά τα σενάρια απαιτούνται τεχνολογικές εξελίξεις τόσο σε επίπεδο δικτύου όσο και σε επίπεδο εφαρμογών. Αυτό περιλαμβάνει την ωριμότητα του 5G για αποτελεσματική μεταφορά δεδομένων μαζί με άλλες τεχνολογίες όπως η ρομποτική, η επαυξημένη και εικονική πραγματικότητα, η αυτοματοποίηση και η τεχνητή νοημοσύνη, οι οποίες θα διαδραματίσουν ρόλο σε επίπεδο εφαρμογής.

Ωστόσο, παρά το γεγονός ότι τα κυβερνοφυσικά συστήματα διαδραματίζουν ήδη σημαντικό ρόλο στην καθημερινότητα των ανθρώπων βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και εξοικονομώντας χρόνο αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι σήμερα υπάρχουν ζητήματα τα οποία χρήζουν επίλυσης. Πιο συγκεκριμένα, δεν είναι λίγες οι φορές που υφίστανται απειλές στον κυβερνοχώρο όπως επίσης και η μεταφορά των δεδομένων σε επίπεδο δικτύου παρουσιάζει ορισμένες ελλείψεις. Τέλος, δεν υπάρχουν ακόμα μαθηματικά μοντέλα και αλγόριθμοι για πάρα πολλά φυσικά συστήματα του περιβάλλοντος με αποτέλεσμα να υπάρχουν περιορισμοί στην ανάπτυξη κυβερνοφυσικών συστημάτων. [25]



Εικόνα 17- Cyber Physical Systems [26]

3.1 Ψηφιακό δίδυμο

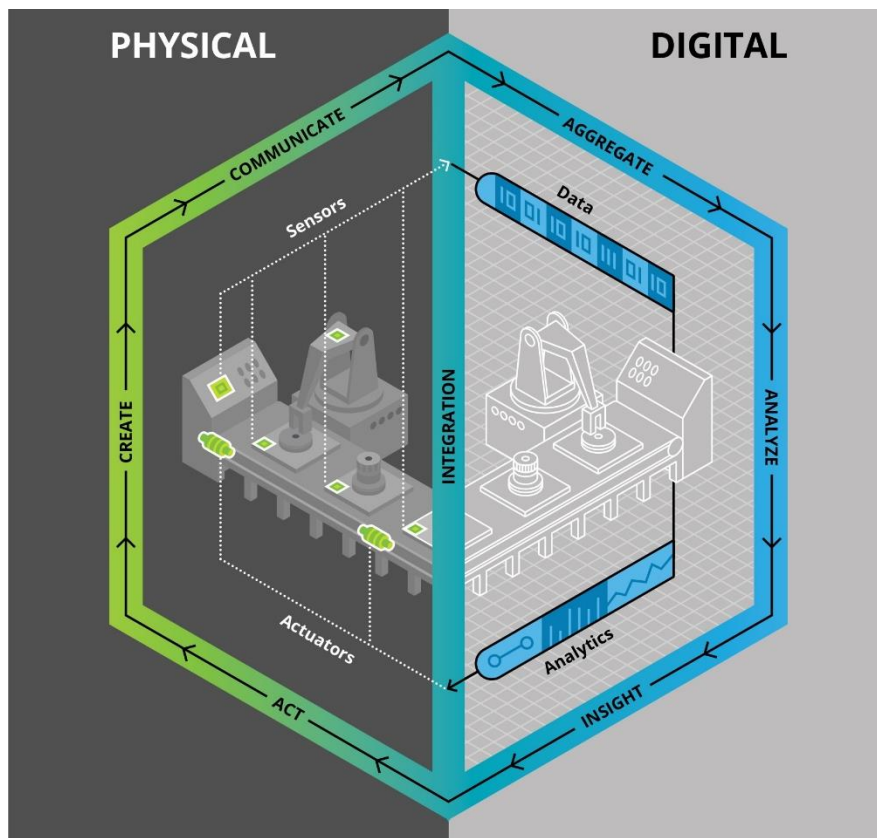
Το ψηφιακό δίδυμο είναι μία ψηφιακή ή εικονική προσομοίωση ενός φυσικού συστήματος ή προϊόντος το οποίο χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τη NASA πριν μερικά χρόνια. Το αντικείμενο που μελετώνται ποικίλουν καθώς μπορεί να είναι ένα φυσικό σύστημα ή ένα προϊόν ωστόσο σε όλα έχουν τοποθετηθεί οι κατάλληλοι αισθητήρες που σχετίζονται με παράγοντες απαραίτητους για την ανάπτυξης ή λειτουργίας του. Οι κόμβοι αισθητήρων λαμβάνουν μετρήσεις σχετικά με διάφορους τομείς της απόδοσης του φυσικού αντικειμένου όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και άλλες συνθήκες. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια αποστέλλονται σε ένα σύστημα επεξεργασίας και εφαρμόζονται στο ψηφιακό αντίγραφο. Μόλις λάβει τα παραπάνω δεδομένα το εικονικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση προσομοιώσεων, τη μελέτη θεμάτων απόδοσης και τη δημιουργία πιθανών βελτιώσεων, με στόχο τη δημιουργία πολύτιμων πληροφοριών, οι οποίες μπορούν στη συνέχεια να εφαρμοστούν ξανά στο αρχικό φυσικό αντικείμενο.

Η ιδέα της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων διατυπώθηκε για πρώτη φορά το 1991. Ωστόσο, ο Dr. Michael Grieves πιστώνεται με την πρώτη εφαρμογή της έννοιας των ψηφιακών διδύμων στην κατασκευή το 2002 και την επίσημη ανακοίνωση της έννοιας του λογισμικού ψηφιακών διδύμων. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η βασική ιδέα της χρήσης ενός ψηφιακού διδύμου ως μέσου μελέτης ενός φυσικού αντικειμένου μπορεί στην πραγματικότητα να παρατηρηθεί πολύ νωρίτερα. Στην πραγματικότητα, μπορεί να ειπωθεί δικαίως ότι η NASA ήταν πρωτοπόρος στη χρήση της τεχνολογίας ψηφιακών διδύμων κατά τη διάρκεια των αποστολών εξερεύνησης του διαστήματος τη δεκαετία του 1960, όταν κάθε διαστημόπλοιο που ταξίδευε αντιγραφόταν με ακρίβεια σε γήινη έκδοση η οποία χρησιμοποιούνταν για σκοπούς μελέτης και προσομοίωσης.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αυξητική τάση χρήσης της τεχνολογίας των ψηφιακών διδύμων από βιομηχανίες που ασχολούνται κυρίως με μηχανικά συστήματα, κατασκευαστικές αυτοκινήτων, στο σχεδιασμό σιδηροδρομικών κατασκευών, την παραγωγή αεροπλάνων, κατασκευές κτηρίων, συστήματα ενέργειας, γεωργία και άλλα. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που ωθούν προς την χρήση της τεχνολογίας αυτής είναι οι εξής:

- Ανοίγει το δρόμο για αποτελεσματικότερη έρευνα καθώς δημιουργείται πληθώρα δεδομένων σχετικά με τα πιθανά αποτελέσματα των επιδόσεων. Οι πληροφορίες μπορούν να οδηγήσουν σε γνώσεις που βοηθούν τις εταιρείες να κάνουν τις απαραίτητες βελτιώσεις στο προϊόν πριν από την έναρξη της παραγωγής.

- Συμβάλλουν στην παρακολούθηση των συστημάτων παραγωγής, με στόχο την επίτευξη και τη διατήρηση της μέγιστης απόδοσης σε ολόκληρη τη διαδικασία παραγωγής αλλά και άλλων σημαντικών παραμέτρων όπως είναι η ενέργεια και οι ρύποι που εκλύονται στο περιβάλλον οι οποίοι με τη δεδομένη κλιματική κρίση πρέπει να κυμαίνονται σε σταθερά επίπεδα.
- Μπορούν ακόμη και να βοηθήσουν τους κατασκευαστές να αποφασίσουν τι θα κάνουν με τα προϊόντα που φτάνουν στο τέλος του κύκλου ζωής τους και πρέπει να επεξεργαστούν, μέσω ανακύκλωσης ή άλλων μέτρων. [27]



Εικόνα 18- Ψηφιακό δίδυμο στη βιομηχανία [28]

3.2 Ψηφιακό δίδυμο σιταριού και Lantana Camara

Ο σχεδιασμός και ανάπτυξη ψηφιακού διδύμου ενός φυτού αποτελεί ένα δύσκολο εγχείρημα καθώς δεν υπάρχουν ακόμα ακριβή μαθηματικά μοντέλα ανάπτυξης φυτών ούτε αρκετές επιστημονικές δημοσιεύσεις με αντίστοιχα εγχειρήματα. Οι γεωπόνοι συσσωρεύουν πολλές ειδικές γνώσεις, παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με τις καλλιεργούμενες ποικιλίες φυτών. Ωστόσο, οι γνώσεις αυτές δεν είναι τυποποιημένες δηλαδή καταγράφονται αλλά δεν είναι σε καμία περίπτωση κατάλληλες για αυτόματους υπολογισμούς και λήψη αποφάσεων. Το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο δημιουργήθηκε για το σιτάρι.

Μία βάση γνώσης για την οικοδόμηση γνώσης εμπειρογνομώνων ανάπτυξης φυτών δηλαδή του ιδανικού εύρους αλλαγής βασικών παραμέτρων η περίοδος ανάπτυξης ενός φυτού θεωρείται από 240 έως 350 ημέρες αλλά χρειάζεται περίπου 70-80 ημέρες από την άνοιξη λαμβάνοντας υπόψη διάφορες κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής.

Μία μέθοδος υπολογισμού της διάρκειας σταδίου ανάπτυξης ανάλογη των θερμοκρασιών θέτει ως αφετηρία ότι το άθροισμα των συσσωρευμένων θετικών θερμοκρασιών θεωρείται καθοριστική παράμετρος. Επιπλέον, γίνεται η παραδοχή του εύρους των θερμοκρασιών ενός φυτού σε θερμοκήπιο κυμαίνεται από +5° C έως +35° C.

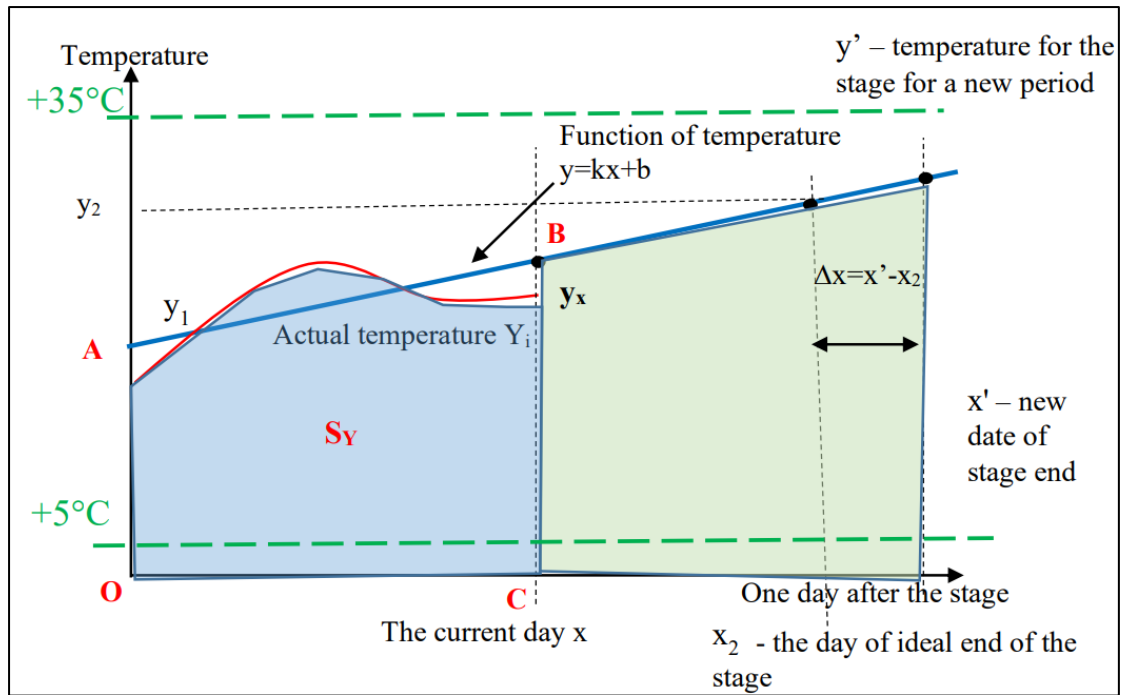
Η γραμμική συνάρτηση αλλαγής θερμοκρασίας δίδεται από τον τύπο:

$$y = k * x + b$$

όπου y η ιδανική θερμοκρασία, x ο αριθμός των ημερών του εκάστοτε σταδίου ανάπτυξης και k σταθερά η οποία ισούται με $(y_2 - y_1) / x_2$ αντικαθιστώντας το $y_1 = b$ με την τιμή της θερμοκρασίας στην αρχή του σταδίου και y_2 με τη τιμή της θερμοκρασίας στο τέλος του σταδίου. Επομένως, με αντικατάσταση η συνάρτηση ισούται με:

$$y = \frac{(y_2 - y_1)}{x_2} * x + y_1$$

Επιπλέον, γίνεται υπόθεση ότι σε κάθε στάδιο υπάρχει μια γραμμική συνάρτηση θερμοκρασίας η οποία αυξάνεται την άνοιξη και μειώνεται το φθινόπωρο.



Εικόνα 19- Μέθοδος υπολογισμού του τέλους του σταδίου ανάπτυξης φυτού βάση θερμοκρασιών [29]

Με βάση την παραπάνω γραφική παράσταση στην μεταβλητή Y_i καταχωρούνται οι πραγματικές μετρήσεις της θερμοκρασίας από τους αισθητήρες ενώ οι πράσινες διακεκομμένες αποτελούν τις οριακές τιμές θερμοκρασιών του θερμοκηπίου. Το S_Y είναι το άθροισμα των συσσωρευμένων θερμοκρασιών και δίδεται από τον τύπο:

$$S_Y = \sum Y_i * \delta x_i$$

Ωστόσο, το τελικό άθροισμα θερμοκρασιών υπολογίζεται από το εμβαδόν OABC από τον τύπο:

$$S_o = \frac{(y_2 + y_1)}{2} * x_2$$

Θεωρούμε ότι η συσσωρευμένη αύξηση θερμοκρασίας είναι ίση με τη διαφορά $S_X - S_Y$ δηλαδή :

$$S_o = S_X - S_Y \Rightarrow$$

$$\frac{(y_2 + y')}{2} * \Delta x = S_X - S_Y \Rightarrow$$

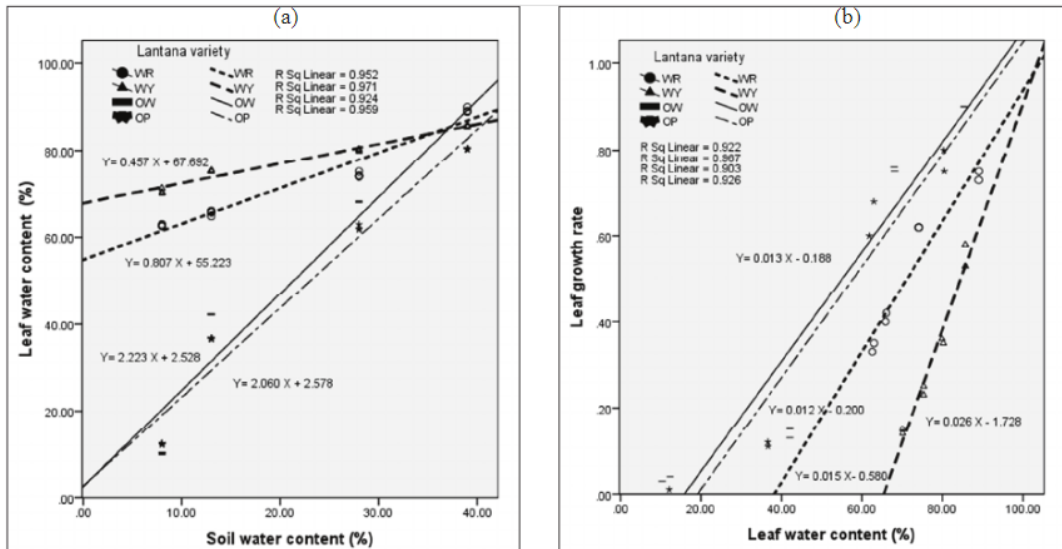
$$\Delta x * y_2 = y_1 * x + \frac{1}{2} * \frac{y_2 - y_1}{x_2} * x^2 - S_Y$$

Αν η θερμοκρασία είναι παράλληλη στον άξονα του χρόνου τότε $y_1 = y_2 = y_x = y'$ τότε η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται ως εξής : $x' = x_2 + \frac{S_o - S_Y}{y_1}$ [29]

Κάθε είδος και ποικιλία φυτού φαίνεται να έχει και διαφορετικό τρόπο και βαθμό ανάπτυξης επομένως χρειάζονται πολλά μαθηματικά μοντέλα για τον σωστό υπολογισμό βέλτιστης ανάπτυξης φυτού. Οι εξισώσεις που παρουσιάστηκαν παραπάνω ανταποκρίνονται στον υπολογισμό ημερών ενός σταδίου για το σιτάρι οπότε δεν μπορεί να θεωρηθεί γενικευμένη μορφή.

Μια ακόμα μελέτη που έχει πραγματοποιηθεί αφορά το φυτό *Lantana Camara* το οποίο μπορεί να μεγαλώσει έως 1.5 έως 1.8 μέτρα σε ύψος όταν βρίσκεται σε ανοιχτό φωτεινό περιβάλλον, ευδοκίμει σε ποικίλα είδη εδάφους όπου η υγρασία στο έδαφος είναι εκτενώς διαθέσιμη, δεν πρέπει να μείνει σε ξηρασία για περισσότερες από 4 ημέρες και χρειάζεται επαρκές φωτισμό ώστε να αναπτύξει ικανοποιητικό αριθμό ανθών. Παρακάτω δίδονται οι βασικοί παράγοντες με τις κατάλληλες τιμές με τις οποίες ένα φυτό *Lantana Camara* άσπρης ποικιλίας μπορεί να αναπτυχθεί με βέλτιστο τρόπο. Επιπλέον, ακολουθούν διαγράμματα που παρέχουν πληροφορίες για τις σχέσεις μεταξύ περιεκτικότητας φύλλων σε νερό και περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό και ποσοστό ανάπτυξης φύλλων συναρτήσει της περιεκτικότητάς τους σε νερό.

| Παράγοντας | Τιμή |
|---|-------------|
| Θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας | 28° C |
| Ένταση φωτός | > 37.5 Klux |
| Συνολική βροχόπτωση ανά έτος | <600 mm |
| Νερό που χρειάζεται καθημερινά | ≈ 200 ml |
| Υγρασία περιβάλλοντος | ≈ 67 % |
| Υγρασία εδάφους | ≈ 30 % |



Εικόνα 20- Γραφική απεικόνιση περιεκτικότητας νερού του φυλλώματος και του εδάφους

Βάσει των γραφικών παραστάσεων προκύπτουν δύο γραμμικές εξισώσεις με τις οποίες έχοντας τις μετρήσεις από το περιβάλλον του φυτού μπορεί να προβλεφθεί ο ρυθμός ανάπτυξης του φυλλώματος. Πιο συγκεκριμένα από τη σχέση περιεκτικότητας νερού του φυλλώματος και της περιεκτικότητας νερού του εδάφους προκύπτει η εξίσωση:

$$F(x) = 0.807x + 55.223$$

Με τη βοήθεια της δεύτερης γραφικής παράστασης έχει δημιουργηθεί εξίσωση υπολογισμού ανάπτυξης φυλλώματος του φυτού σε εκατοστά συναρτήσει της περιεκτικότητας του σε νερό:

$$F(x) = 0.013x + 0.188$$

Τέλος, στην συγκεκριμένη έρευνα παρατηρήθηκε ότι με 50% επίπεδο σκίασης, το φυτό αναπτύσσεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. [30]

Κεφάλαιο 4: ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

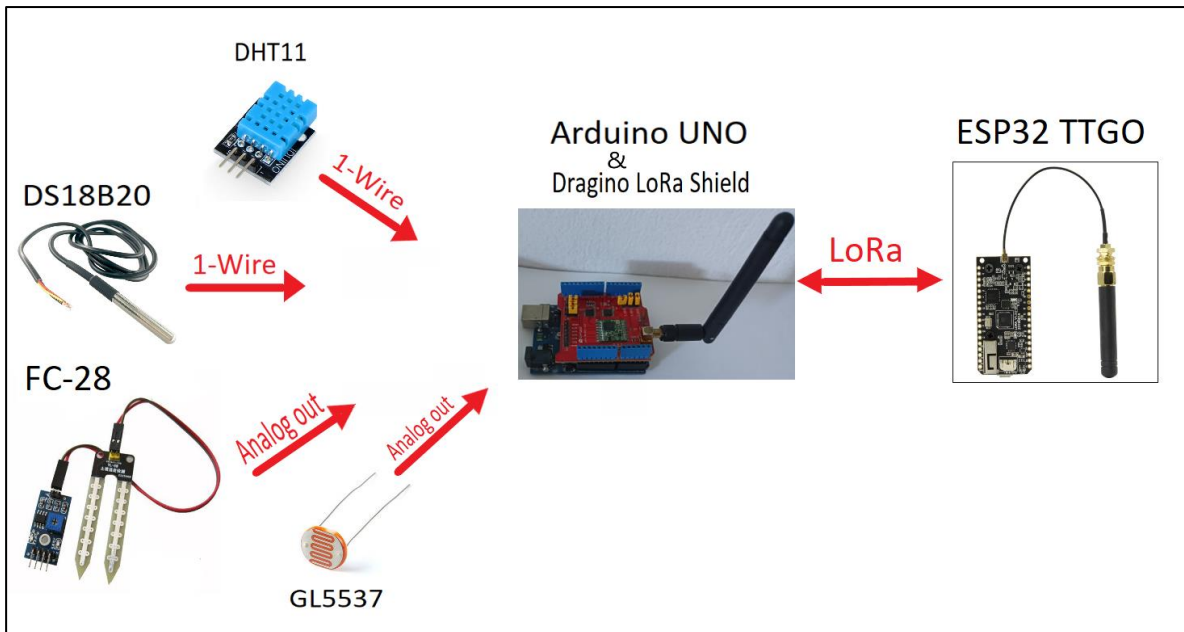
Το πρακτικό μέρος απαρτίζεται από δύο διαφορετικά κυβερνοφυσικά συστήματα βασισμένα όμως στο ίδιο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο κυβερνοφυσικό σύστημα βάσει των εξαρτημάτων που επιλέχθηκαν υποστηρίζει point to point επικοινωνία και χρησιμοποιήθηκε η διαμόρφωση LoRa γεγονός που συνεπάγεται ότι μπορεί να παρακολουθείται κάποιο φυτό έως και 15 χιλιόμετρα μακριά από τον χρήστη με κάποιους μικρούς περιορισμούς ως προς τον αριθμό των κόμβων και τα requests λόγω των περιορισμών του κόστους ανάπτυξης.

Στο δεύτερο κυβερνοφυσικό σύστημα αξιοποιήθηκε το πρωτόκολλο LoRaWAN διαφοροποιήθηκε το gateway έτσι ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με μεγαλύτερο αριθμό κόμβων δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για παρακολούθηση ενός χωραφιού με εγκατεστημένους έως 7 κόμβους και προβολή των δεδομένων μέσω dashboards και γραφημάτων. Οι δυνατότητες αυτές δόθηκαν λόγω αύξησης του κόστους του συστήματος αλλά και την συνδρομή του server του πανεπιστημίου δυτικής Αττικής ο οποίος δεν εμφανίζει περιορισμούς ως προς το πλήθος των δεδομένων.

4.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος- 1^η προσέγγιση

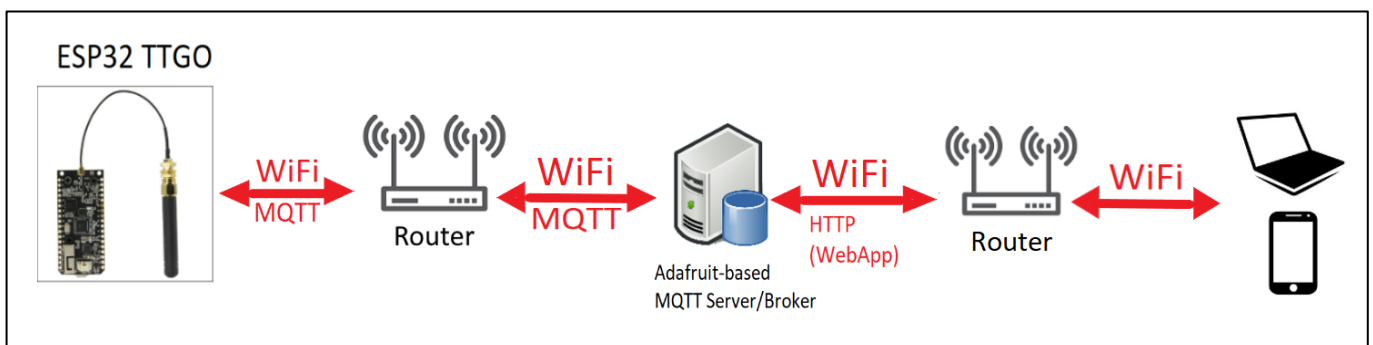
Το πρώτο πρακτικό μέρος έχει ως στόχο τη δημιουργία ενός κόμβου αποτελούμενου από αισθητήρες που μετράνε ζωτικής σημασίας παραμέτρους για την ανάπτυξη ενός φυτού. Στη συνέχεια, οι μετρήσεις αυτές αποστέλλονται με τη βοήθεια της διαμόρφωσης LoRa στο gateway του συστήματος, δηλαδή σε ένα ESP32 TTGO. Το gateway με τη σειρά του μέσω του MQTT πρωτοκόλλου μεταβιβάζει τις μετρήσεις των αισθητήρων σε cloud service της Adafruit δημιουργώντας παράλληλα τα κατάλληλα feeds, dashboards και γραφήματα για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά.

Πιο συγκεκριμένα, γίνεται χρήση των αισθητήρων DHT11 και DS18B20 οι οποίοι μετράνε τη θερμοκρασία και υγρασία του περιβάλλοντος και τη θερμοκρασία του εδάφους αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες είναι ψηφιακοί και επικοινωνούν με τον μικροελεγκτή AT328P με τη βοήθεια του πρωτοκόλλου 1-Wire όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Επιπλέον, με τη βοήθεια των αισθητήρων FC-28 και GL5537, οι οποίοι είναι και οι δύο αναλογικοί, καταμετρούνται η υγρασία του εδάφους και η φωτεινότητα του περιβάλλοντος. Οι τέσσερις αυτές μετρήσεις στη συνέχεια αποστέλλονται στο gateway του συστήματος και πιο συγκεκριμένα στο ESP32 TTGO μέσω της διαμόρφωσης LoRa η οποία ενδείκνυται για project έξυπνης γεωργίας καθώς διαθέτει μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.



Εικόνα 21- Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το ESP32 TTGO με τη σειρά του με την βοήθεια της ασύρματης τεχνολογίας Wi-Fi και του MQTT Protocol επικοινωνεί με τον εκάστοτε router και εκείνο επικοινωνεί αμφίδρομα με τον MQTT Broker που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι server της Adafruit στα πλαίσια του cloud service που προσφέρει. Τέλος, το *Adafruit IO* αποστέλλει τις μετρήσεις στο *laptop* ή κινητό ή *tablet* του χρήστη, μέσω του πρωτόκολλου μεταφοράς υπερκειμένου προκειμένου μέσω διαγραμμάτων να έχει επίγνωση της συνολικής εικόνας ενώ σημαντικό είναι να τονιστεί πως υπάρχουν δυνατότητες από τους χρήστες μέσω *laptop* να ελέγξουν διάφορες λειτουργίες του συστήματος χάρη στη δυνατότητα του *MQTT* να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα (*publish / subscribe*).

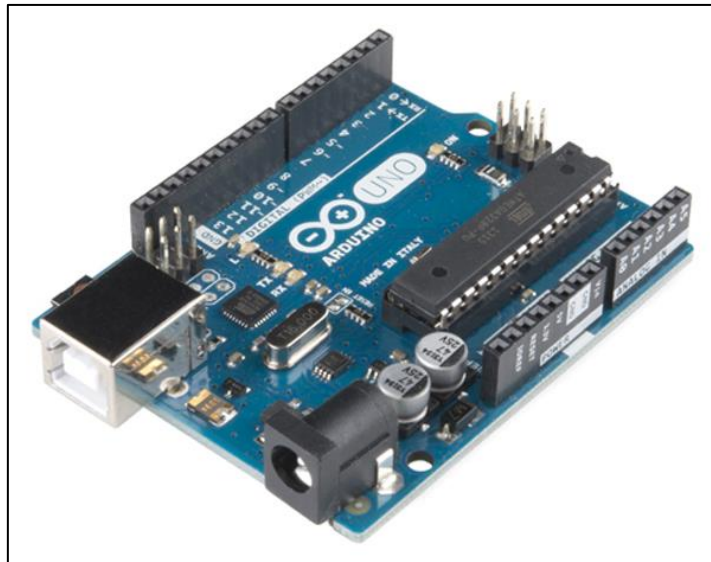


Εικόνα 22- Αρχιτεκτονική Συστήματος

4.2 Επιλογή κατάλληλων εξαρτημάτων

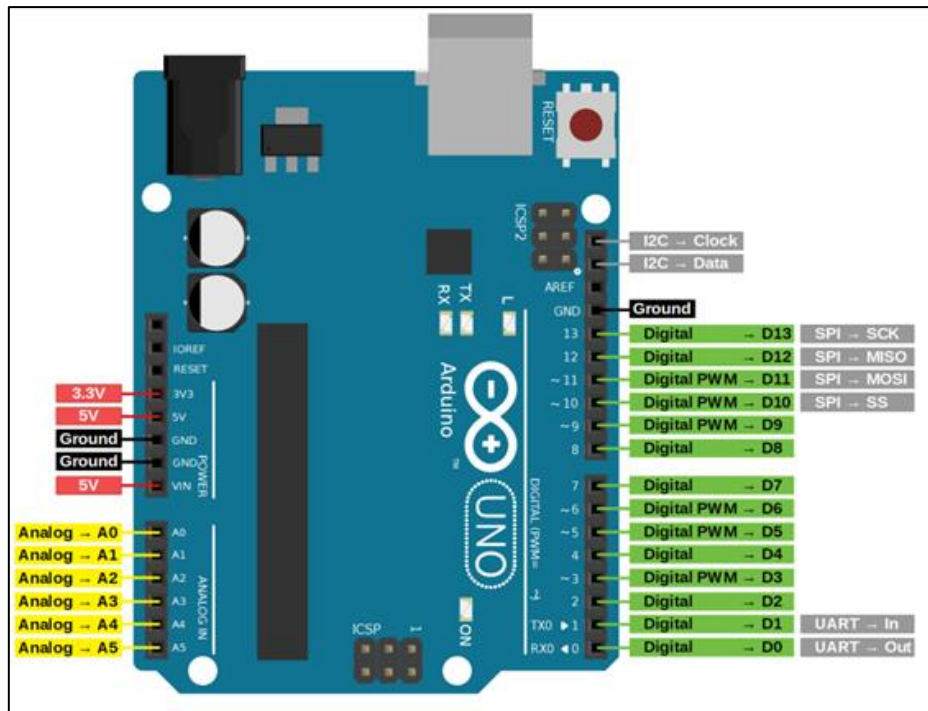
4.2.1 Arduino Uno και ο μικροελεγκτής ATmega328P

Για τον κόμβο των αισθητήρων προτιμήθηκε να αξιοποιηθεί η πλατφόρμα Arduino Uno με τον μικροελεγκτή ATmega328P. Πρόκειται για μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που βασίζεται σε εύχρηστο υλικό και λογισμικό με δυνατότητα υποστήριξης μεγάλου εύρους project από το πιο απλό όπως για παράδειγμα να διαβάσει την είσοδο ενός αισθητήρα φωτός μέχρι πιο σύνθετες υλοποιήσεις στο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων και σε περιβάλλοντα με ενσωματωμένα συστήματα. Ένας ακόμα λόγος που επιλέχθηκε ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής των 8bit είναι διότι έχει απλό και σαφές περιβάλλον προγραμματισμού και έχει ήδη δουλευτεί σε αρκετές εργασίες σε προηγούμενα εξάμηνα. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι υπάρχει στο εμπόριο σε πολύ οικονομική τιμή σε σύγκριση με άλλους μικροελεγκτές.



Εικόνα 23- Arduino UNO board [31]

Το Arduino Uno αποτελείται από 6 αναλογικές εισόδους (A_0-A_5) και 14 ψηφιακές ακίδες οι οποίες μπορούν να λειτουργούν είτε ως εισοδοι είτε ως έξοδοι. Επίσης, οι 6 από τις 14 αυτές ψηφιακές εισόδους και πιο συγκεκριμένα τα pins 3,5,6,9,10,11 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM δηλαδή να παρέχονται αναλογικά αποτελέσματα μέσα από ψηφιακά μέσα. Επιπλέον, υποστηρίζει σύνδεση USB, υποδοχή τροφοδοσίας, reset button, DC power jack, ακίδες γείωσης, 3,3Volts, 5Volts, πλήθος GPIOs και άλλα. Τα κοινά περιφερειακά επικοινωνίας στο Arduino είναι τα UART, SPI και I²C.

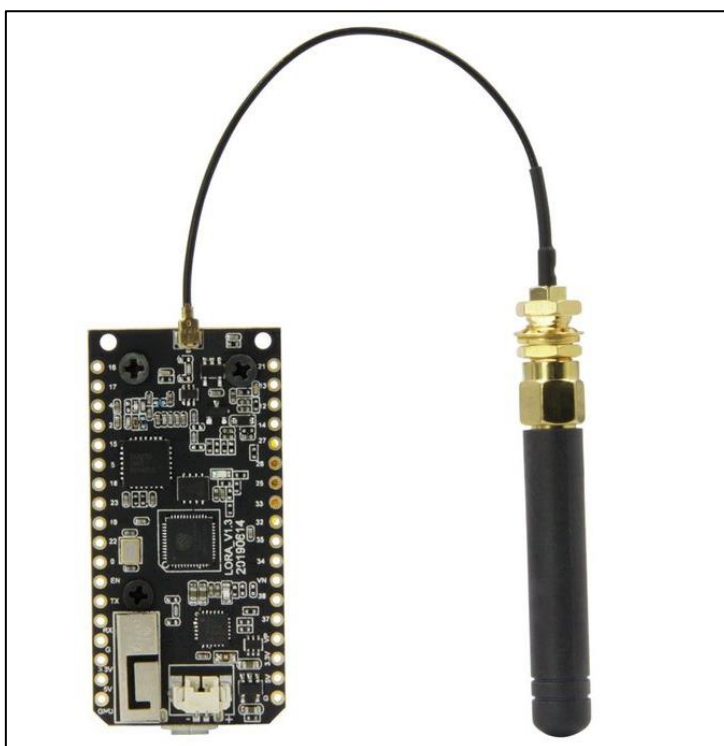


Εικόνα 24- Τα pinouts του Arduino Uno [31]

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή ATmega328P υλοποιείται στο ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης της ίδιας εταιρείας δηλαδή στο Arduino IDE με τη βοήθεια της γλώσσας Embedded C. Το περιβάλλον αυτό ανάπτυξης κώδικα περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος βιβλιοθηκών και παραδειγμάτων όπου σε συνδυασμό με open source communities προσφέρεται ένα υπόβαθρο εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο χρόνο και κόπος. Από τις πιο διαδεδομένες έτοιμες συναρτήσεις είναι οι : PinMode(), AnalogRead(), AnalogWrite(), DigitalRead(), DigitalWrite(), delay(). Υπάρχει η δυνατότητα δήλωσης μεταβλητών τύπου int, float, char, string και άλλων ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε project. Οι δύο βασικές συναρτήσεις που συναντά κάθε χρήστης με το που ανοίγει το περιβάλλον αυτό είναι η void set up η οποία εκτελείται τη πρώτη φορά και στόχο έχει την αρχικοποίηση των ρυθμίσεων όπως αυτή της κλάσης της Serial.begin() και η void loop η οποία εκτελείται συνεχόμενα. [31]

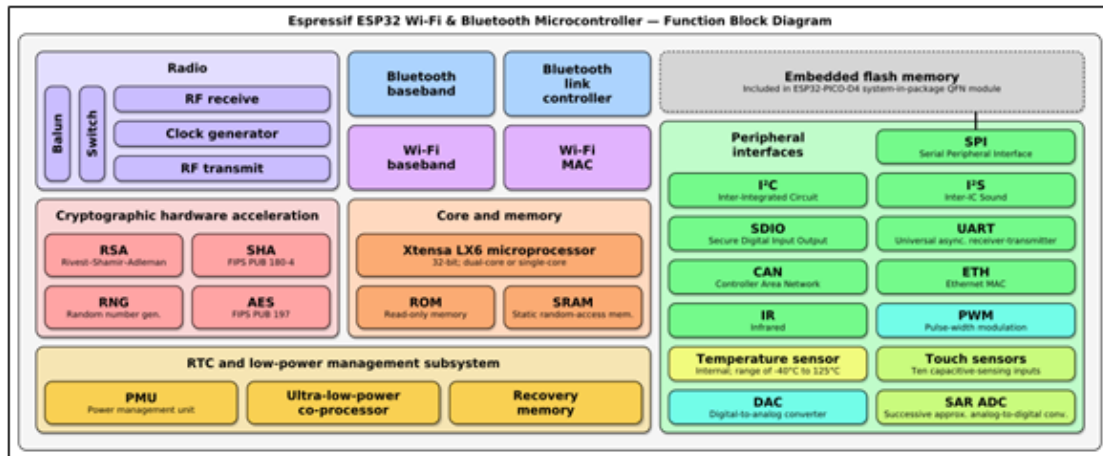
4.2.2 TTGO ESP32 LoRa

Ως gateway δηλαδή ως πύλη δικτύου για την λήψη των δεδομένων από τον κόμβο και την αποστολή τους σε κάποιο από τα διαθέσιμα cloud services επιλέχθηκε το TTGO ESP32 της εταιρείας Espressif Systems. Συγκεκριμένα, το TTGO ESP32 διαθέτει 2 πυρήνες χρονισμένους στα 240Mhz, αλλά και πυρήνα ULP (Ultra-Low Power) για εκτέλεση λειτουργιών χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όταν αυτό απαιτείται.



Εικόνα 25- Ο μικροελεγκτής ESP32 TTGO [33]

Όσον αφορά την συνδεσιμότητά του προσφέρει τόσο WiFi 802.11b/g/n και Bluetooth όπως ένας απλός μικροελεγκτής ESP32 όσο και συνδεσιμότητα LoRa σε εξαιρετικά υψηλή εμβέλεια με χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων. Ταυτόχρονα το πλήθος των GPIOs αλλά και των Interfaces που υποστηρίζει (SPI/I2C/UART) αλλά και των ενσωματωμένων ADC και DAC το καθιστούν ικανό να υποστηρίξει πλήρως την τρέχουσα υλοποίηση. Η επιλογή αυτή σηματοδότησε τόσο την μείωση του κόστους του συστήματος αλλά και της πολυπλοκότητάς του συγκριτικά με άλλους μικροελεγκτές και μικροϋπολογιστές που υποστηρίζουν αντίστοιχες τεχνολογίες.



Εικόνα 26- Το λειτουργικό διάγραμμα του ESP32 [32]

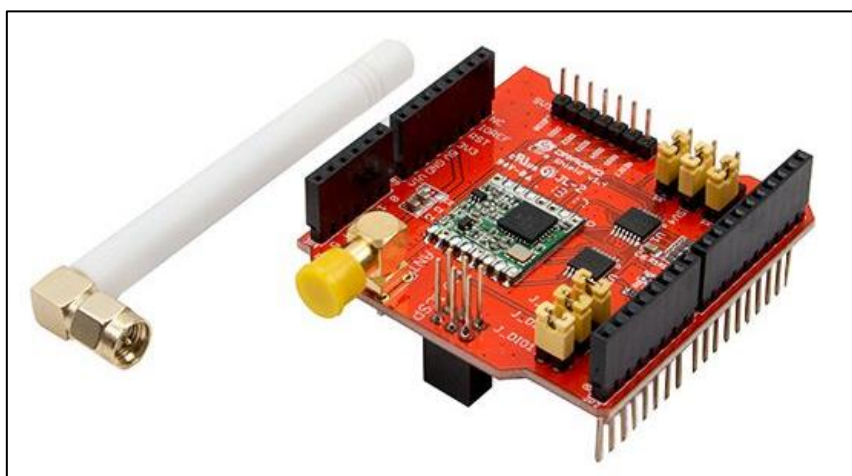
Όλοι οι μικροελεγκτές και τυπωμένα κυκλώματα της συγκεκριμένης εταιρείας των ESP υποστηρίζονται από το IDE του Arduino. Έτσι με την εγκατάσταση των εκάστοτε βιβλιοθηκών σε ίδια γλώσσα προγραμματισμού και συναρτήσεις μπορεί κανείς να αναπτύξει τα δικά του συστήματα γεγονός το οποίο καθιστά ιδιαίτερα εύκολη την ανάπτυξη του συστήματος σε σύγκριση με κάποιον άλλον μικροελεγκτή όπως για παράδειγμα της οικογένειας των ARM. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής υπάρχει διαθέσιμος με κεραία τριών διαφορετικών συχνοτήτων στα 433 MHz, 868 MHz και 915 MHz και επιλέχθηκε η συχνότητα των 868 MHz. [32]

4.2.3 Dragino Lora Shield

Για την αποστολή δεδομένων από τον κόμβο των αισθητήρων επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ένα board το οποίο μπορεί να υποστηρίξει τεχνολογία LoRa και LoRaWAN με συχνότητα στα 868 MHz όπως και στο gateway και ταυτόχρονα βρίσκεται σε οικονομική τιμή. Ο λόγος γίνεται για το Dragino LoRa Shield.

Το Dragino LoRa Shield SX1276 είναι ένα ειδικά διαμορφωμένο shield έτσι ώστε να εφαρμόζει πάνω από το Arduino Uno με κατάλληλα headers, διαθέτει την τεχνολογία LoRa και βασίζεται σε βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα. Αυτή η επιλογή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να στέλνει δεδομένα και να φτάνει σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις με χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων. Παρέχει επικοινωνία φάσματος διασποράς εξαιρετικά μεγάλης εμβέλειας και υψηλή ανοσία στις παρεμβολές, ενώ ελαχιστοποιεί την κατανάλωση ρεύματος. Επιπλέον, βασίζεται στο τσιπ Semtech SX1276, απευθύνεται σε επαγγελματικές εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων, όπως συστήματα άρδευσης, έξυπνη μέτρηση, έξυπνες πόλεις, ανίχνευση smartphone, αυτοματισμοί κτιρίων και άλλα.

Χρησιμοποιώντας την τεχνική διαμόρφωσης SX1276 LoRa, το Dragino Shield που διαθέτει την τεχνολογία LoRa μπορεί να επιτύχει ευαισθησία πάνω από -148dBm , χρησιμοποιώντας κρύσταλλο χαμηλού κόστους και κατάλογο υλικών. Η υψηλή ευαισθησία σε συνδυασμό με τον ενσωματωμένο ενισχυτή ισχύος $+20\text{ dBm}$ αποδίδει κορυφαίο προϋπολογισμό σύνδεσης, καθιστώντας το βέλτιστο για κάθε εφαρμογή που απαιτεί εμβέλεια ή στιβαρότητα. Το LoRa παρέχει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο στην παρεμπόδιση όσο και στην επιλεκτικότητα σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές διαμόρφωσης, επιλύοντας τον παραδοσιακό συμβιβασμό σχεδιασμού μεταξύ εμβέλειας, ανοχής σε παρεμβολές και κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 27- Το Dragino LoRa Shield [34]

| Symbol | Description | Conditions | Min | Typ | Max | Unit |
|---------|---|----------------------------------|-----|------|-----|------|
| IDDSL | Supply current in Sleep mode | | - | 0.2 | 1 | uA |
| IDDIDLE | Supply current in Idle mode | RC oscillator enabled | - | 1.5 | - | uA |
| IDDST | Supply current in Standby mode | Crystal oscillator enabled | - | 1.6 | 1.8 | mA |
| IDDFS | Supply current in Synthesizer mode | FSRx | - | 5.8 | - | mA |
| IDDR | Supply current in Receive mode | LnaBoost Off, band 1 | - | 10.8 | - | mA |
| | | LnaBoost On, band 1 | - | 11.5 | - | |
| | | Bands 2&3 | - | 12.0 | - | |
| IDDT | Supply current in Transmit mode with impedance matching | RFOP = +20 dBm, on PA_BOOST | - | 120 | - | mA |
| | | RFOP = +17 dBm, on PA_BOOST | - | 87 | - | mA |
| | | RFOP = +13 dBm, on RFO_LF/HF pin | - | 29 | - | mA |
| | | RFOP = +7 dBm, on RFO_LF/HF pin | - | 20 | - | mA |

Εικόνα 28- Διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του Dragino LoRa shield [34]

Για να επιτευχθεί η αποστολή δεδομένων μέσω LoRa θα πρέπει πρώτα να εγκαταστήσουμε από το Arduino IDE-> Tools -> Manage Libraries την κατάλληλη βιβλιοθήκη. Στη συνέχεια, για την ενσωμάτωση της βιβλιοθήκης στο project την καλούμε μέσω του include με την απαραίτητη προϋπόθεση επίκλησης της βιβλιοθήκης για SPI επικοινωνία. Μέσα στην συνάρτηση void setup() γίνεται αρχικοποίηση της διαμόρφωσης LoRa και στην συνάρτηση void loop() καλείται η συνάρτηση sendLoRaData. Στην εν λόγω συνάρτηση στέλνονται πακέτα δεδομένων μέσω των συναρτήσεων LoRaPrint στο gateway δηλαδή στο TTGO ESP32 μορφής string. Οι τιμές των συναρτήσεων στέλνονται διαδοχικά και διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα ελληνικό ερωτηματικό “;” καθώς μετά από πολλές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι αυτή ήταν η βέλτιστη λύση. [34]

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(868E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

void loop()
{
  sendLoRaData();
  delay(2000);
}
```



```
}

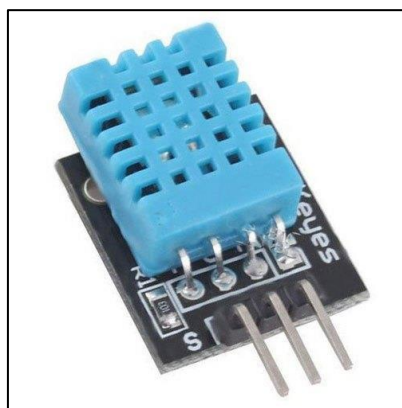
void sendLoRaData() {
  // send packet
  Serial.println("Sending packet: ");
  LoRa.beginPacket();
  // LoRa.print("Humidity: " + String(hum) + "% ");
  // LoRa.print("Temperature: " + String(temp) + "C ");
  // LoRa.print("Moisture: " + String(mois) + "% ");
  // LoRa.print("Light: " + String(light) + "Lux ")
  LoRa.print(String(hum) + ";");
  LoRa.print(String(temp) + ";");
  LoRa.print(String(mois) + ";");
  LoRa.print(String(light) + ";");
  LoRa.print(String(tempsoil));

  LoRa.endPacket();
}
```

4.2.4 Αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας DHT11

Δύο πολύ βασικές παράμετροι παρακολούθησης για την εύρυθμη λειτουργία ενός φυτού είναι εκείνες της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα. Στη συγκεκριμένη υλοποίηση υπήρχε η δυνατότητα της επιλογής είτε δύο αισθητήρων όπου ο καθένας θα μετρούσε κάθε παράμετρο είτε ενός αισθητήρα που έχει δυνατότητα μέτρησης και της θερμοκρασίας αλλά και της υγρασίας ταυτόχρονα. Λαμβάνοντας υπόψη τη μείωση του κόστους και της πολυπλοκότητας του συστήματος επιλέχθηκε ένας αισθητήρας ο οποίος μετράει και τα δύο ενώ ταυτόχρονα έχει δουλευτεί στο παρελθόν.

Επομένως, ως αισθητήρας υγρασίας και θερμοκρασίας ορίστηκε ο DHT11. Ένας ψηφιακός αισθητήρας χαμηλού κόστους ο οποίος δύναται εύκολα να ενσωματωθεί στο σύστημα. Μπορεί να τροφοδοτηθεί από 3V έως 5V. Καλύπτει εύρος θερμοκρασιών από 0 έως 50 βαθμούς Κελσίου, και εύρος υγρασίας από 20% έως 90%. Το μέγιστο σφάλμα του όσον αφορά τη θερμοκρασία είναι $\pm 2^{\circ}\text{C}$ και για την υγρασία είναι $\pm 5\%RH$.



Εικόνα 29- Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 [35]

Τα τεχνικά και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αισθητήρα δίνονται στους παρακάτω πίνακες.

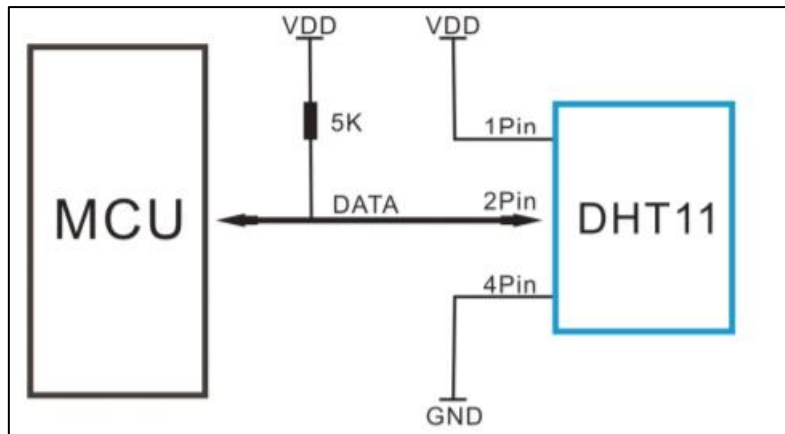
Πίνακας 1- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του DHT11 [35]

| Parameters | Conditions | Minimum | Typical | Maximum |
|-------------------------|----------------------------|---------|-------------|---------|
| Humidity | | | | |
| Resolution | | 1%RH | 1%RH | 1%RH |
| | | | 8 Bit | |
| Repeatability | | | ± 1%RH | |
| Accuracy | 25°C | | ± 4%RH | |
| | 0-50°C | | | ± 5%RH |
| Interchangeability | Fully Interchangeable | | | |
| Measurement Range | 0°C | 30%RH | | 90%RH |
| | 25°C | 20%RH | | 90%RH |
| | 50°C | 20%RH | | 80%RH |
| Response Time (Seconds) | 1/e(63%)25°C , 1m/s Air | 6 S | 10 S | 15 S |
| Hysteresis | | | ± 1%RH | |
| Long-Term Stability | Typical | | ± 1%RH/year | |
| Temperature | | | | |
| Resolution | | 1°C | 1°C | 1°C |
| | | 8 Bit | 8 Bit | 8 Bit |
| Repeatability | | | ± 1°C | |
| Accuracy | | ± 1°C | | ± 2°C |
| Measurement Range | | 0°C | | 50°C |
| Response Time (Seconds) | 1/e(63%) | 6 S | | 30 S |

Πίνακας 2- Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του DHT11 [35]

| | Conditions | Minimum | Typical | Maximum |
|-----------------|------------|---------|---------|---------|
| Power Supply | DC | 3V | 5V | 5.5V |
| Current Supply | Measuring | 0.5mA | | 2.5mA |
| | Average | 0.2mA | | 1mA |
| | Standby | 100uA | | 150uA |
| Sampling period | Second | 1 | | |

Ο αισθητήρας DHT11 σε breakout board, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα χρειάζεται τρία pins για τη σύνδεση του με το Arduino Uno. Ο ένας ακροδέκτης συνδέεται με τα +5Volts του μικροελεγκτή, ο δεύτερος με ένα αναλογικό ακροδέκτη ενώ χρειάζεται και μια pull-up αντίσταση των 5K η οποία στην περίπτωση του breakout board υπάρχει ήδη ενσωματωμένη και ο τέταρτος με τη γείωση. [35]



Εικόνα 30- Συνδεσμολογία Αισθητήρα DHT11 [35]

Για την δημιουργία κώδικα του αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας έπρεπε πρώτα να εγκατασταθεί η κατάλληλη βιβλιοθήκη στο Arduino IDE και εν συνεχεία να ενσωματωθούν τα αρχεία της βιβλιοθήκης μέσω include. Επιπλέον, ορίζονται δύο μεταβλητές τύπου int και float για την θερμοκρασία και την υγρασία αντίστοιχα και ένα αναλογικό pin από την πλατφόρμα Arduino στη συγκεκριμένη περίπτωση ο A₀ το οποίο λειτουργεί ως είσοδος. Οι μετρήσεις αποθηκεύονται στις μεταβλητές temp και hum αντίστοιχα και απεικονίζονται στην σειριακή οθόνη του IDE ως strings κάθε 2000 milliseconds εφόσον η συνάρτηση λήψης μετρήσεων βρίσκεται στην void loop().

```
#include <DHT.h>

DHT dht(A0, DHT11);

int hum;
float temp;

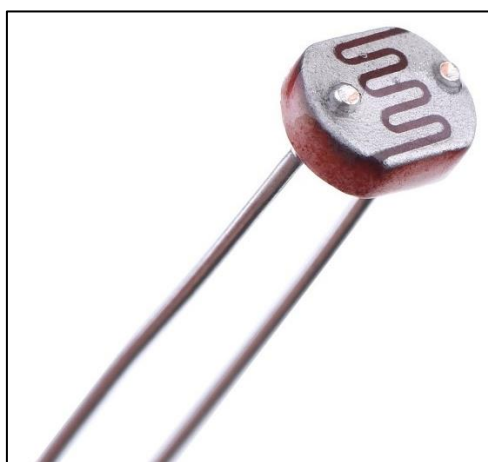
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(A0, INPUT);
  dht.begin();
}

void loop()
{
  getSensorData();
  delay(2000);
}
```

```
void getSensorData() {  
    temp = dht.readTemperature();  
    hum = dht.readHumidity();  
    Serial.print("Humidity: " + String(hum) + "% ");  
    Serial.print("Temperature: " + String(temp) + "C ");  
    Serial.print(String(hum) + ";");  
    Serial.print(String(temp) + ";");  
}
```

4.2.5 Αισθητήρας φωτεινότητας GL5537

Η μέτρηση της φωτεινότητας αποτελεί επίσης μια σημαντική παράμετρο για την σωστή ανάπτυξη των φυτών. Για την παρούσα υλοποίηση επιλέχθηκε ένας πολύ οικονομικός και εύκολος στη χρήση αισθητήρας φωτεινότητας GL5537. Η συγκεκριμένη φωτοαντίσταση είναι μια αντίσταση που είναι κατασκευασμένη από ημιαγωγικό υλικό, έχει υψηλή ευαισθησία και η αγωγιμότητα αλλάζει με τη μεταβολή της φωτεινότητας. Χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές βιομηχανίες, όπως παιχνίδια, λαμπτήρες, φωτογραφικές μηχανές και άλλα. Επιπλέον, αποτελεί μια ανθεκτική επιλογή καθώς είναι σε θέση να λειτουργεί σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -30°C έως 70 °C.

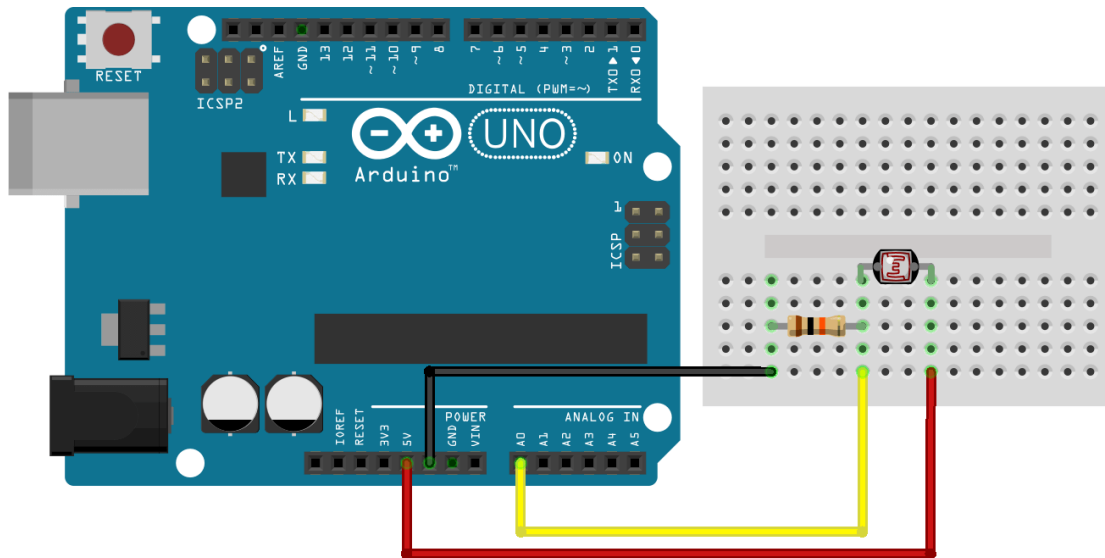


Εικόνα 31- Ο αισθητήρας φωτεινότητας GL5537 [36]

Πίνακας 3- Τεχνικά χαρακτηριστικά του GL5537 [36]

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Light Resistance at 10Lux (at 25°C) | 18 ~ 50KΩ |
| Dark Resistance at 0 Lux | 2.0MΩ(min) |
| Gamma value at 100-10Lux | 0.7 |
| Power Dissipation(at 25°C) | 100mW |
| Max Voltage (at 25°C) | 150V |
| Spectral Response peak (at 25°C) | 540nm |
| Ambient Temperature Range: | - 30~ +70°C |

Για τη σύνδεση της με το Arduino Uno χρησιμοποιείται και μια ακόμα αντίσταση 10KΩ για την δημιουργία του απαιτούμενου διαιρέτη τάσης, ώστε να ανιχνεύσει μεταβολές στην φωτεινότητα. Όπως φαίνεται και παρακάτω ο ένας ακροδέκτης της φωτοαντίστασης το συνδέουμε με ένα pin +5Volts του Arduino και το άλλο που αποτελεί την έξοδο του διαιρέτη τάσης με κάποιο αναλογικό pin που στη προκειμένη περίπτωση είναι το A2. Τέλος, ο δεύτερος ακροδέκτης της απλής αντίστασης συνδέεται με GND pin. [36]



Εικόνα 32- Συνδεσμολογία του αισθητήρα GL5537

Στο κώδικα για τη μέτρηση της φωτεινότητας του περιβάλλοντος όπως φαίνεται παρακάτω εισάγουμε μια νέα μεταβλητή τύπου int με όνομα light η οποία αποθηκεύει τις τιμές των μετρήσεων που λαμβάνει ο μικροελεγκτής από τον αισθητήρα από την μεταβλητή lightadc. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβλητή lightadc μπορεί να πάρει ένα εύρος τιμών από 0 έως 1023 λόγω της συνάρτησης analogRead για το λόγο αυτό γίνεται χρήση της συνάρτησης map () η οποία έχει την δυνατότητα να επανατοποθετεί έναν αριθμό από ένα εύρος σε ένα άλλο. Με τον τρόπο αυτό λοιπόν τροποποιούνται οι οριακές τιμές από 0 έως 1023 σε 0 έως 100 οι οποίες στην συνέχεια αποτυπώνονται στην σειριακή οθόνη.

```
int light;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

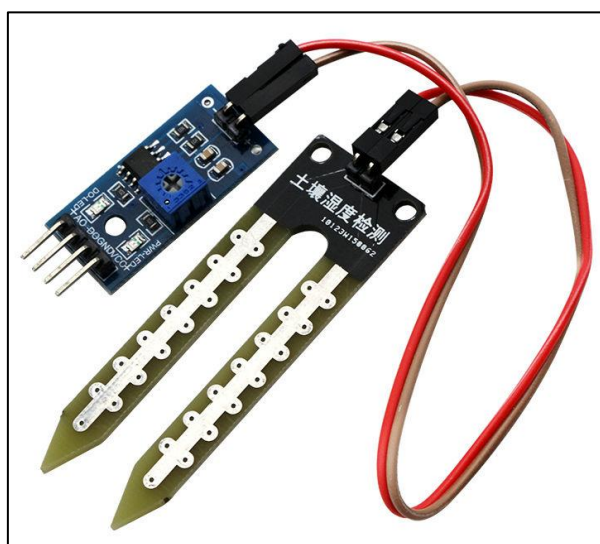
void loop()
{
  getSensorData();
  delay(2000);
}

void getSensorData() {
  int lightadc = analogRead(A2);
  light = map(lightadc, 0, 1023, 0, 100);
  Serial.print("Light: " + String(light) + "Lux ");
  Serial.print(String(light) + ";");
}
```

4.2.6 Αισθητήρας υγρασίας χώματος FC-28

Για τον πιο ολοκληρωμένο σχεδιασμό και ανάπτυξη ψηφιακού διδύμου ενός φυτού θα πρέπει να υπάρχει η απομακρυσμένη και ακριβή γνώση των βασικών παραμέτρων για την ανάπτυξη των φυτών. Μια από αυτές τις παραμέτρους είναι η υγρασία του χώματος κοντά στις ρίζες του φυτού. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας χώματος FC-28. Πρόκειται για τον πιο οικονομικό αισθητήρα στην κατηγορία του ο οποίος ενδείκνυται για πιο εκπαιδευτικές υλοποιήσεις καθώς μπορεί να προγραμματιστεί εύκολα από τον μικροελεγκτή που έχουμε ορίσει.

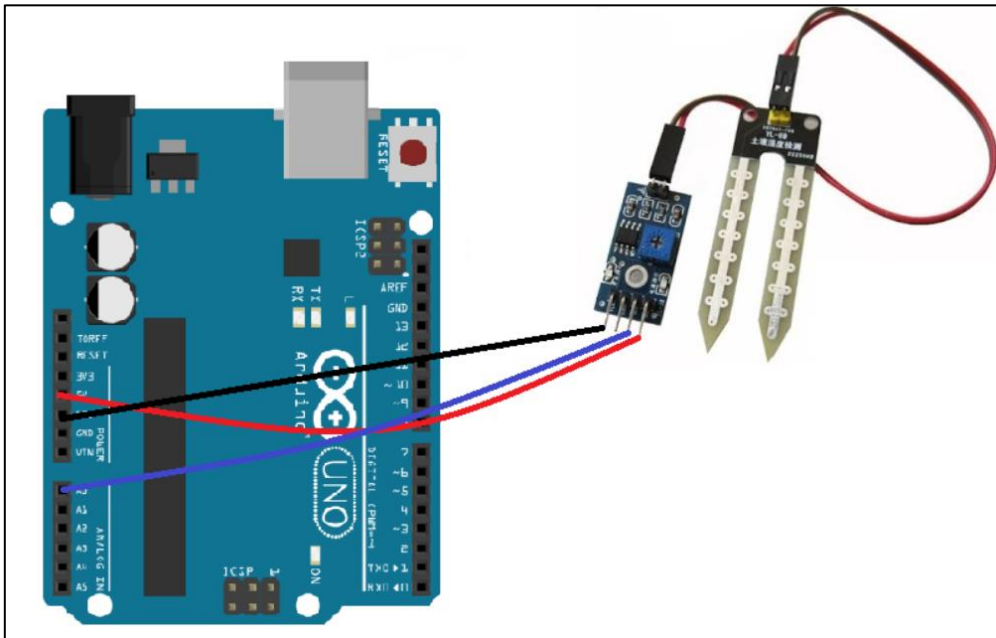
Ο αισθητήρας εδαφικής υγρασίας αποτελείται από δύο ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ογκομετρικής περιεκτικότητας του νερού. Οι δύο ανιχνευτές επιτρέπουν τη διέλευση ρεύματος από το έδαφος και στη συνέχεια λαμβάνουν την τιμή της αντίστασης για τη μέτρηση της τιμής της υγρασίας. Όταν υπάρχει περισσότερο νερό, το έδαφος θα αγωγιμοποιήσει περισσότερο τον ηλεκτρισμό, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρχει μικρότερη αντίσταση. Επομένως, το επίπεδο υγρασίας θα είναι υψηλότερο. Το ξηρό χώμα άγει τον ηλεκτρισμό ελάχιστα, οπότε όταν υπάρχει λιγότερο νερό, τότε το χώμα θα άγει λιγότερο ηλεκτρισμό, πράγμα που σημαίνει ότι θα υπάρχει μεγαλύτερη αντίσταση. Επομένως, το επίπεδο υγρασίας θα είναι χαμηλότερο. Αυτός ο αισθητήρας μπορεί να συνδεθεί με δύο τρόπους λειτουργίας: αναλογική λειτουργία και ψηφιακή λειτουργία.



Εικόνα 33- Ο αισθητήρας μέτρησης εδαφικής υγρασίας FC-28 [38]

Στην παρούσα υλοποίηση επιλέχθηκε να αξιοποιηθεί η αναλογική λειτουργία του εν λόγω αισθητήρα. Για το λόγο αυτό ο ένας ακροδέκτης του συνδέθηκε με το pin των +5 Volts του Arduino Uno. Ο δεύτερος με κάποιο από τα αναλογικά pins της πλατφόρμας και πιο συγκεκριμένα με το A₁ ενώ ο τρίτος ακροδέκτης που υποστηρίζει την ψηφιακή λειτουργία

του δεν χρησιμοποιείται. Τέλος, ο τέταρτος ακροδέκτης συνδέεται με αντίστοιχο pin γείωσης. Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι στον αισθητήρα αυτό όταν λειτουργεί αναλογικά υπάρχει στο board ειδική πράσινη ένδειξη με τη βοήθεια μιας μικρής διόδου- LED και αντίστοιχα κόκκινη ένδειξη κατά την ψηφιακή του λειτουργία. [37]



Εικόνα 34- Συνδεσμολογία του αισθητήρα FC-28 [38]

Όπως αναφέρθηκε για τον αισθητήρα FC-28 δεν απαιτήθηκε ξεχωριστή εγκατάσταση βιβλιοθήκης στο προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE. Η λογική προγραμματισμού σε αυτήν την περίπτωση είναι παρόμοια με εκείνη του αισθητήρα μέτρησης φωτός. Δημιουργούμε δύο μεταβλητές τύπου int : την mois και την moisadc. Στη μεταβλητή moisadc αποθηκεύονται τιμές από 0 έως 1023 λόγω της συνάρτησης analogRead .

Στην συνέχεια, καλούμε την συνάρτηση map() η οποία επανατοποθετεί το εύρος ενός αριθμού σε ένα άλλο. Το νέο εύρος γίνεται από 0 έως 100 για λόγους ευκολίας κατανόησης από τον χρήστη και με αυτόν τον τρόπο αποτυπώνεται το ποσοστό υγρασίας του χρώματος σε ποσοστό (%) τόσο στην σειριακή οθόνη όσο και σε ειδικά dashboards και γραφήματα που θα αναλυθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

```
int mois;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(A1, INPUT);  
}
```

```

}

void loop()
{
  getSensorData();
  delay(2000);
}

void getSensorData() {
  int moisadc = analogRead(A1);
  mois = map(moisadc, 0, 1023, 100, 0);
  Serial.print("Moisture: " + String(mois) + "% ");
  Serial.print( String(mois) + ";" );
}

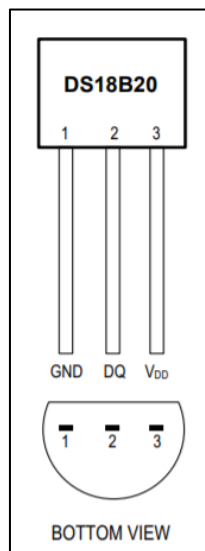
```

4.2.7 Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας χώματος DS18B20

Αφού εξασφαλίστηκε η λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας του αέρα όπως αναφέρθηκε παραπάνω κρίθηκε εξίσου σημαντική η μέτρηση θερμοκρασίας του χώματος καθώς οι ρίζες των φυτών αλλά και τα συστατικά που τα θρέφουν βρίσκονται στο χώμα. Επομένως, για την μέτρηση θερμοκρασίας του εδάφους επιλέχθηκε ένας ευρέως γνωστός αισθητήρας αλλά και εξαιρετικά οικονομικός αισθητήρας, ο DS18B20. Σε συνδυασμό με τον αισθητήρα μέτρησης υγρασίας εδάφους δίνεται η δυνατότητα μέτρησης των δύο αυτών μεγεθών, ζωτικής σημασίας για την επιβίωση του φυτού, σε πραγματικό χρόνο. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας υπάρχει διαθέσιμος είτε στην πιο απλή μορφή του δηλαδή χωρίς κάποια προστασία από το νερό αλλά είτε με ειδικά διαμορφωμένο περίβλημα που τον καθιστά αδιάβροχο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε η αδιάβροχη εκδοχή του καθώς το project περιλαμβάνει και αυτόματο πότισμα. Επιπλέον, ο αισθητήρας DS18B20 χρησιμοποιεί πρωτόκολλο επικοινωνίας 1-Wire για να διασφαλίσει την ακεραιότητα των δεδομένων. Ακολουθούν οπτικό υλικό, τεχνικά χαρακτηριστικά και κώδικας προκειμένου να δοθούν περαιτέρω πληροφορίες.



Εικόνα 35- Ο αισθητήρας θερμοκρασίας εδάφους DS18B20 [39]



Εικόνα 36- Οι όψεις και το pinout του αισθητήρα DS18B20 [39]

Πίνακας 4- Τα απόλυτα όρια του αισθητήρα DS18B20 [39]

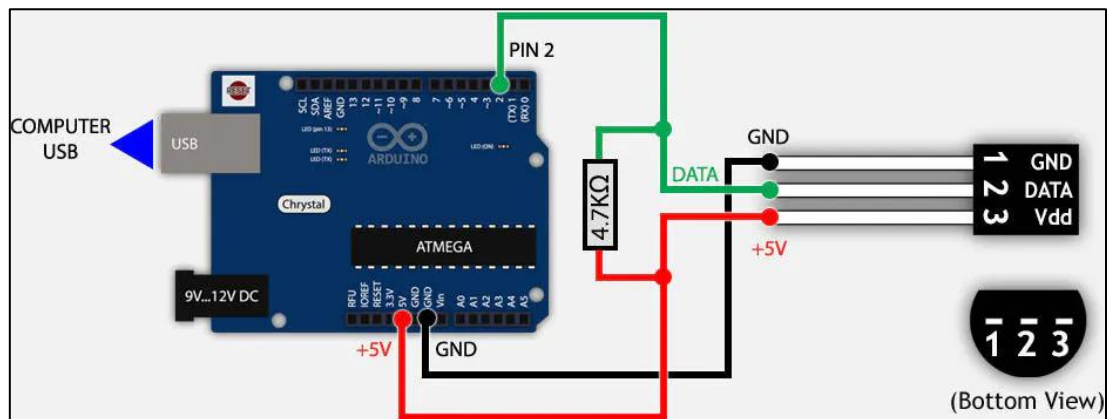
| Absolute Maximum Ratings | |
|--|---|
| Voltage Range on Any Pin Relative to Ground..... | -0.5V to +6.0V |
| Operating Temperature Range..... | -55°C to +125°C |
| Storage Temperature Range..... | -55°C to +125°C |
| Solder Temperature..... | Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification. |

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

| PARAMETER | SYMBOL | CONDITIONS | MIN | TYP | MAX | UNITS |
|-----------------------|-----------|------------------------|------|------|------------------------------------|-------|
| Supply Voltage | V_{DD} | Local power (Note 1) | +3.0 | | +5.5 | V |
| Pullup Supply Voltage | V_{PU} | Parasite power | +3.0 | | +5.5 | V |
| | | Local power | +3.0 | | V_{DD} | |
| Thermometer Error | t_{ERR} | -10°C to +85°C | | | ±0.5 | °C |
| | | -30°C to +100°C | | | ±1 | |
| | | -55°C to +125°C | | | ±2 | |
| Input Logic-Low | V_{IL} | (Notes 1, 4, 5) | -0.3 | | +0.8 | V |
| Input Logic-High | V_{IH} | Local power | +2.2 | | The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$ | V |
| | | Parasite power | +3.0 | | | |
| Sink Current | I_L | $V_{I/O} = 0.4V$ | 4.0 | | | mA |
| Standby Current | I_{DDs} | (Notes 7, 8) | | 750 | 1000 | nA |
| Active Current | I_{DD} | $V_{DD} = 5V$ (Note 9) | | 1 | 1.5 | mA |
| DQ Input Current | I_{DQ} | (Note 10) | | 5 | | μA |
| Drift | | (Note 11) | | ±0.2 | | °C |

Η συνδεσμολογία του εν λόγω αισθητήρα με το Arduino Uno όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα ο πρώτος ακροδέκτης συνδέεται με pin γείωσης, ο δεύτερος ακροδέκτης με κάποιο ψηφιακό ή αναλογικό pin του μικροελεγκτή το οποίο ορίζεται ως είσοδος και ο τρίτος με pin των +5 Volts. Ωστόσο δεν πρέπει να παραληφθεί μια pull up αντίσταση της τάξης των 4.7 Kiloohms η οποία συνδέεται με τους ακροδέκτες των δεδομένων και της τροφοδοσίας. [39]



Εικόνα 37- Η συνδεσμολογία του αισθητήρα DS18B20 [39]

Για τη δημιουργία κώδικα για τη λήψη μετρήσεων θερμοκρασίας του χώματος θα πρέπει πρώτα να γίνει εγκατάσταση από το Arduino IDE των κατάλληλων βιβλιοθηκών και έπειτα τις επικαλούμαι με το include. Στη συνέχεια, ορίζεται ένα αναλογικό pin του μικροελεγκτή και εξασφαλίζεται η one wire επικοινωνία μεταξύ Arduino Uno και αισθητήρα. Έπειτα, γίνεται αρχικοποίηση της ρύθμισης για την εκκίνηση της βιβλιοθήκης και οι τιμές

αποθηκεύονται σε μια μεταβλητή που έχουμε ονομάσει temp soil και αποτυπώνεται με περιγραφικά και μονολεκτικά στο serial monitor του Arduino IDE.

```
// Prwta symperilambanoyme tis vivliothikes
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// To one wire sindeetai me to analog pin A3 tou Arduino
#define ONE_WIRE_BUS A3

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Rythmisi mias periptwshs one wire
gia epikoinwnia me syskeues one wire
DallasTemperature ds18b20(&oneWire); // Pername thn anafora one wire
ston Dallas Temperature

float tempsoil;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  ds18b20.begin(); //ekkinhsh vivliothikhhs
}

void loop()
{
  getSensorData();
  delay(2000);
}

void getSensorData() {
  ds18b20.requestTemperatures();
  tempsoil = ds18b20.getTempCByIndex(0);
  Serial.println ("Soil temperature: " + String(tempsoil) + "C ");
  Serial.println( String(tempsoil));
}
```

4.2.8 Relay και Power Bank

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό πέρα από την εκπαιδευτική διαδικασία να πληροί τις προϋποθέσεις ενός ολοκληρωμένου συστήματος για την άμεση εγκατάστασή του σε κάποιο χωράφι, θερμοκήπιο ή κήπο. Επομένως, κρίθηκε απαραίτητη η προσθήκη ενός ρελέ το οποίο συνδέεται με από την μία με το Arduino Uno και από την άλλη με μία αντλία νερού. Όταν τα επίπεδα υγρασίας του χώματος, τα οποία μετρούνται με τον αισθητήρα FC-28, πέσουν κάτω από μια οριακή τιμή την οποία μπορούμε ανά πάσα στιγμή να παραμετροποιήσουμε το σύστημα οδηγείται σε αυτόματο πότισμα το οποίο θα σταματήσει όταν η υγρασία του χώματος το επιτρέψει. Με τον τρόπο ελαχιστοποιείται το χειροκίνητο πότισμα και αναδεικνύεται το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της κατασκευής ενός ψηφιακού διδύμου.



Εικόνα 38- Relay 5 Volts

Το ρελέ συνδέεται από την μια του πλευρά με το Arduino με τρεις ακροδέκτες +5 Volts, γείωσης και ενός ψηφιακού pin το οποίο δεν πρέπει να χρησιμοποιείται ήδη από το Dragino LoRa Shield. Από την άλλη του πλευρά συνδέεται με την αντλία νερού όπου στην προκειμένη περίπτωση δεν αγοράστηκε λόγω αυξημένου κόστους. Αντίστοιχα, θα μπορούσε το ρελέ να συνδέεται με κάποια ειδική λάμπα φυτών όταν ο αισθητήρας φωτεινότητας φέρει χαμηλές μετρήσεις φωτός ιδιαίτερα σε σκανδιναβικές χώρες που χρησιμοποιούν έχουν ενσωμάτωση αυτήν την ιδέα σε πολλά θερμοκήπια.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ένα power bank το οποίο τροφοδοτεί τον κόμβο των αισθητήρων προκειμένου να γίνει μελέτη για την εμβέλεια του συστήματος καθώς σε πραγματικές συνθήκες ο υπολογιστής και το gateway του χρήστη με τον client θα έχουν απόσταση κάποιων μέτρων ή χιλιομέτρων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση του συστήματος.

4.3 Ο κώδικας λήψης δεδομένων του TTGO ESP32

```
#include <SPI.h> // ekkinish vivliothikwn
#include <LoRa.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

const char *ssid = "To onoma tou WiFi";
const char *password = "O kwdikos tou WiFi ";

// MQTT Broker
const char *mqtt_broker = "io.adafruit.com";
const char *topichum = "alexasarkiri/feeds/hum";
const char *topictemp = "alexasarkiri/feeds/temp";
const char *topicmois = "alexasarkiri/feeds/mois";
const char *topiclight = "alexasarkiri/feeds/light";
const char *topictempsoil = "alexasarkiri/feeds/tempsoil";
const char *mqtt_username = "alexasarkiri";
const char *mqtt_password = "o kwdikos mou";
const int mqtt_port = 1883;

const int csPin = 18; // LoRa radio chip select
const int resetPin = 14; // LoRa radio reset
const int irqPin = 26; // change for your board; must be a
hardware interrupt pin
String loradedomena;

unsigned long previousMillis = 20000; // gia metrisi xronou xoris
delay
const long period = 20000;

String hum = "0";
String temp = "0";
String mois = "0";
String light = "0";
String tempsoil = "0";

void callback(char *topic, byte * payload, unsigned int length) {
  Serial.print("Message arrived in topic: ");
```

```

Serial.println(topic);
Serial.print("Message:");
for (int i = 0; i < length; i++) {
    Serial.print((char) payload[i]);
}
Serial.println();
Serial.println("-----");
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("LoRa ALex");

    LoRa.setPins(csPin, resetPin, irqPin);

    if (!LoRa.begin(868E6)) {
        Serial.println("Enarxi LoRa apetixe. Deite tis sindeseis.");
        while (true);
    }

    Serial.println("LoRa init succeeded.");
    // LoRa.setSpreadingFactor(12);
    // LoRa.enableCrc();
    // LoRa.setPreambleLength(8);
    // LoRa.setCodingRate4(8);
    // LoRa.setSignalBandwidth(250E3);

    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.println("Sindesi me to WiFi..");
    }
    Serial.println("Sindethike sto WiFi network");
    //connecting to a mqtt broker
    client.setServer(mqtt_broker, mqtt_port);
    client.setCallback(callback);

}

void loop() {

```



```

loraReceivedata();

unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis >= period) {
    previousMillis = currentMillis;
    Serial.println("Perasan 20");
    connectAndPublish();
}
client.loop();
}

String diaxTimwn(String data, char diaxoristis, int index)
{
    int vrethikan = 0;
    int strIndex[] = {0, -1};
    int maxIndex = data.length() - 1;

    for (int i = 0; i <= maxIndex && vrethikan <= index; i++) {
        if (data.charAt(i) == diaxoristis || i == maxIndex) {
            vrethikan++;
            strIndex[0] = strIndex[1] + 1;
            strIndex[1] = (i == maxIndex) ? i + 1 : i;
        }
    }

    return vrethikan > index ? data.substring(strIndex[0], strIndex[1])
: "";
}

void loraReceivedata() {
    int packetSize = LoRa.parsePacket();
    if (packetSize) {

        Serial.print("Liftheda packeta ");

        loradedomena = "";
        while (LoRa.available()) {
            loradedomena = loradedomena + (char) LoRa.read();
        }
    }
}

```

```

Serial.print (loradedomena);
Serial.print("' with RSSI");
Serial.println(LoRa.packetRssi());
hum = diaxTimwn(loradedomena, ';', 0);
temp = diaxTimwn(loradedomena, ';', 1);
mois = diaxTimwn(loradedomena, ';', 2);
light = diaxTimwn(loradedomena, ';', 3);
tempsoil = diaxTimwn (loradedomena, ';', 4);
Serial.println ("Humidity: " + hum + "%");
Serial.println ("Temperature: " + temp + "C");
Serial.println ("Moisture: " + mois + "%");
Serial.println ("Light: " + light + "Lux");
Serial.println("Soil Temperature:" + tempsoil + "C");
}
// delay(1);
}

void connectAndPublish() {
  while (!client.connected()) {
    Serial.println("Sindesi me MQTT...");

    if (client.connect("ESP32Client", mqtt_onoma, mqtt_kodikos )) {

      Serial.println("sindethike");

    } else {

      Serial.print("failed with state ");
      Serial.print(client.state());
      delay(2000);

    }
  }
}

// Once connected, publish an announcement...

client.publish(topichum, (char*) hum.c_str());
client.publish(topictemp, (char*) temp.c_str());
client.publish(topicmois, (char*) mois.c_str());
client.publish(topiclight, (char*) light.c_str());
client.publish(topictempsoil, (char*) tempsoil.c_str());

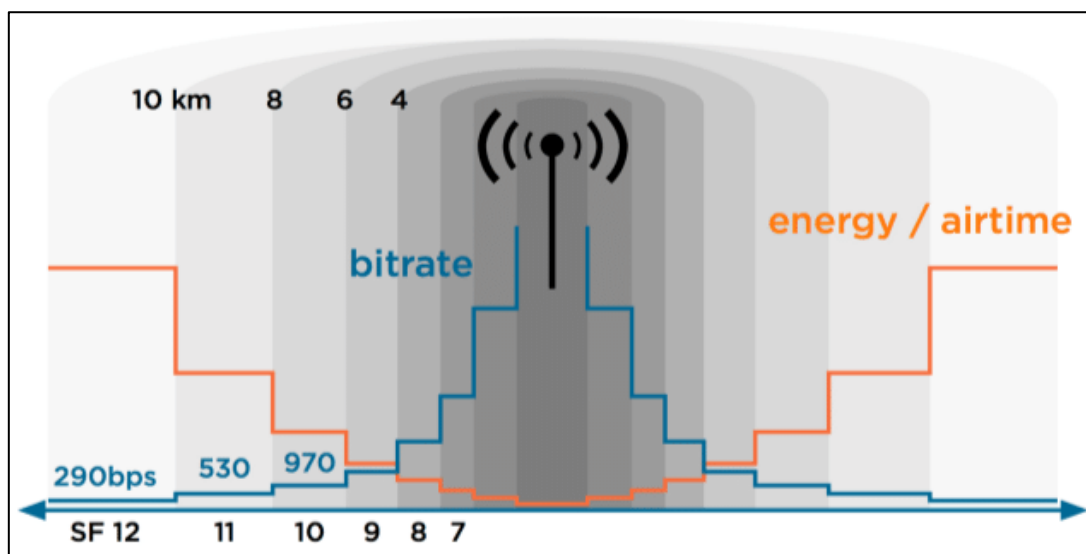
```

```
// client.publish(topicum, "51");  
// client.publish(topictemp, "52");  
// client.publish(topicmois, "53");  
// client.publish(topiclight, "54");  
Serial.println("published");  
// client.publish(topictempsoil, (char*) tempsoil.c_str());  
}
```

4.4 LoRa Spreading Factor

Το LoRa είναι μια τεχνική διαμόρφωσης με διασκορπισμένο φάσμα που βασίζεται στο συμπιεσμένο παλμό ραντάρ υψηλής έντασης ή στο διασκορπισμένο φάσμα "chirp" και αποτελεί φυσικό επίπεδο στο LoRaWAN. Χρησιμοποιεί τα λεγόμενα "chirps" δηλαδή ένα σήμα με συχνότητα που κινείται προς τα πάνω ή προς τα κάτω (up-chirp ή down-chirp αντίστοιχα) με διαφορετική ταχύτητα. Ο παράγοντας διασποράς είναι αυτός που καθορίζει την ταχύτητα ενός chirp.

Πιο συγκεκριμένα, ο παράγοντας διασποράς είναι ο αριθμός των τσιπ ανά σύμβολο που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία δεδομένων πριν από το σήμα μετάδοσης. Η τιμή του είναι ένας ακέραιος αριθμός μεταξύ 6 και 12. Στις τεχνικές διασποράς φάσματος, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή αυτής της παραμέτρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητα του δέκτη να απομακρύνει το θόρυβο από το σήμα. Έτσι, όσο μεγαλύτερη τιμή λαμβάνεται, τόσο περισσότερος χρόνος απαιτείται για την αποστολή ενός πακέτου, αλλά και τόσο καλύτερη εμβέλεια επιτυγχάνεται επειδή η ευαισθησία του δέκτη είναι καλύτερη. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλότερη τιμή Spreading Factor είναι ταχύτερη, μπορούν να μεταδοθούν περισσότερα δεδομένα για το ίδιο εύρος ζώνης και την ίδια μονάδα χρόνου. [40]



Εικόνα 39- LoRa Spreading Factor [40]

4.5 MQTT Protocol

Το MQTT πρόκειται για ένα εξαιρετικά απλό και ελαφρύ πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων (subscribe and publish) που έχει σχεδιαστεί για περιορισμένες συσκευές και δίκτυα με υψηλή καθυστέρηση, χαμηλό εύρος ζώνης ή αναξιόπιστα δίκτυα. Οι αρχές σχεδιασμού του έχουν σχεδιαστεί για να μειώνουν το εύρος ζώνης του δικτύου και τις απαιτήσεις σε πόρους των συσκευών και να εξασφαλίζουν την ασφάλεια εφοδιασμού. Επιπλέον, οι αρχές αυτές είναι επωφελείς για συσκευές M2M ή IoT, επειδή η απόδοση της μπαταρίας και το εύρος ζώνης είναι πολύ σημαντικά.

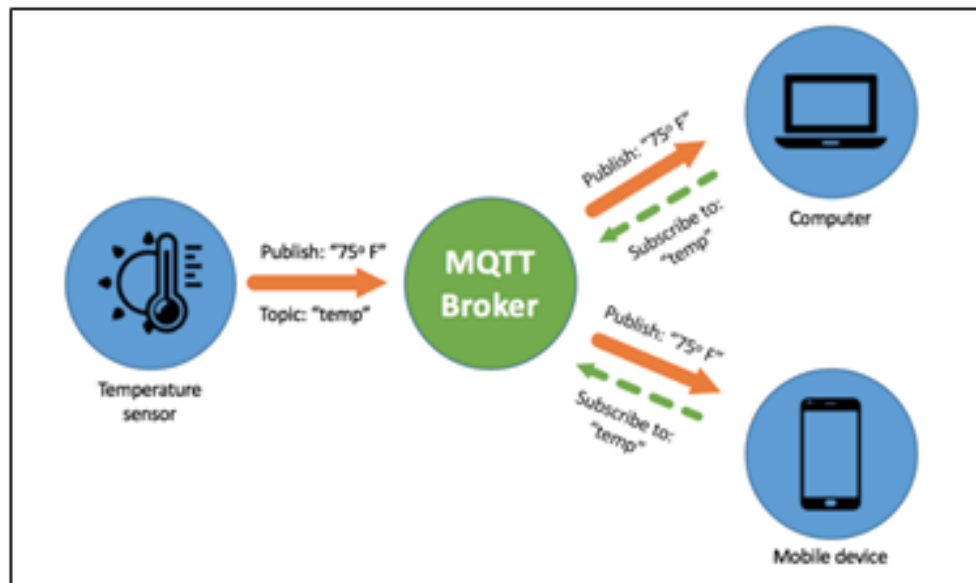
Το MQTT λειτουργεί με την αρχή του publisher / subscriber και λειτουργεί μέσω ενός κεντρικού διαμεσολαβητή. Αυτό σημαίνει ότι ο αποστολέας και ο παραλήπτης δεν έχουν άμεση σύνδεση. Οι πηγές δεδομένων αναφέρουν τα δεδομένα τους μέσω μιας δημοσίευσης και όλοι οι παραλήπτες που ενδιαφέρονται για συγκεκριμένα μηνύματα λαμβάνουν τα δεδομένα που παραδίδονται επειδή έχουν εγγραφεί ως subscribers. Στο IoT το MQTT χρησιμοποιείται μέχρι τη σύνδεση cloud environments.

Το πρωτόκολλο MQTT είναι μια καλή επιλογή για ασύρματα δίκτυα που έχουν ποικίλες καθυστερήσεις λόγω περιστασιακών περιορισμών του εύρους ζώνης ή αναξιόπιστων συνδέσεων. Εάν η σύνδεση από έναν subscribing client σε έναν διαμεσολαβητή διακοπεί, ο διαμεσολαβητής αποθηκεύει τα μηνύματα και τα αποστέλλει στον συνδρομητή όταν ο συνδρομητής είναι και πάλι συνδεδεμένος. Εάν η σύνδεση από τον publishing client προς τον μεσίτη διακοπεί χωρίς ειδοποίηση, ο Broker μπορεί να αποσυνδεθεί και να στείλει στον συνδρομητή ένα αποθηκευμένο μήνυμα με οδηγίες από τον εκδότη.

Ο MQTT broker είναι το κέντρο κάθε πρωτοκόλλου Publish / Subscribe. Ανάλογα με την υλοποίηση, ένας broker μπορεί να διαχειριστεί έως και χιλιάδες ταυτόχρονα συνδεδεμένους clients MQTT. Επίσης, είναι υπεύθυνος για τη λήψη όλων των μηνυμάτων, το φιλτράρισμα των μηνυμάτων, τον προσδιορισμό του ποιος έχει εγγραφεί σε κάθε μήνυμα και την αποστολή του μηνύματος σε αυτούς τους εγγεγραμμένους clients. Επιπλέον, κρατά επίσης τις συνεδρίες όλων των μόνιμων πελατών, συμπεριλαμβανομένων των συνδρομών και των μηνυμάτων που χάθηκαν.

Ένα άλλο καθήκον του MQTT broker είναι η αυθεντικοποίηση και η εξουσιοδότηση των clients. Συνήθως είναι επεκτάσιμος, γεγονός που διευκολύνει την προσαρμοσμένη αυθεντικοποίηση, εξουσιοδότηση και ενσωμάτωση με συστήματα backend. Η ενσωμάτωση είναι ιδιαίτερα σημαντική, επειδή ο broker είναι συχνά το στοιχείο που εκτίθεται άμεσα στο

Διαδίκτυο, εξυπηρετεί πολλούς πελάτες και πρέπει να προωθεί μηνύματα σε συστήματα ανάλυσης και επεξεργασίας που ακολουθούν. Με άλλα λόγια, ο διαμεσολαβητής είναι ο κεντρικός κόμβος μέσω του οποίου πρέπει να δρομολογείται κάθε μήνυμα. Επομένως, είναι σημαντικό να είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμος, να μπορεί να ενσωματωθεί σε συστήματα back-end, να είναι εύκολο να παρακολουθείται και να είναι ασφαλής. [41]

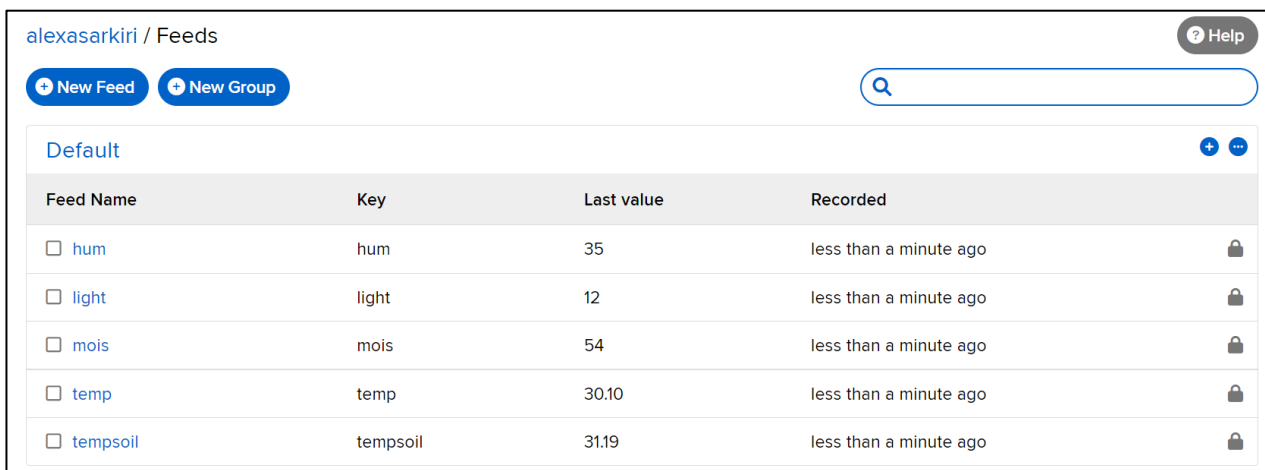


Εικόνα 40- Παράδειγμα με χρήση MQTT πρωτοκόλλου [41]

4.6 Cloud service Adafruit IO

Για την ολοκλήρωση του πρώτου πρακτικού μέρους δηλαδή την αποτύπωση των μετρήσεων των αισθητήρων μέσα από ενδείκτες και γραφήματα αξιοποιήθηκε η πλατφόρμα Adafruit IO. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα αποτελεί cloud service της εταιρείας και αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για εκπαιδευτικές εργασίες καθώς δίνει την δυνατότητα εμφάνισης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, συνδέοντας το project στην υπηρεσία cloud μπορούν να ελεγχθούν μέσω αυτής κινητήρες, ρελέ, buttons και πολλά άλλα ενώ παράλληλα μπορεί να συνδεθεί με υπηρεσίες του διαδικτύου όπως Twitter, υπηρεσίες καιρού. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι όλες αυτές οι δυνατότητες παρέχονται δωρεάν.

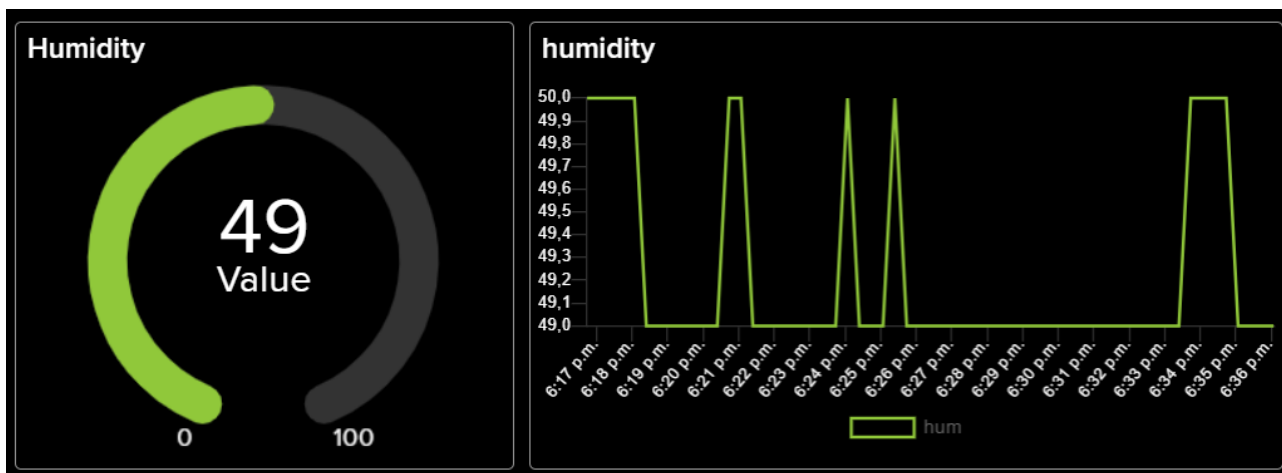
Η παρακάτω υλοποίηση επετεύχθη με τη χρήση του πρωτόκολλου MQTT. Πιο συγκεκριμένα, αφού δημιουργηθεί λογαριασμός στον κώδικα του gateway δημιουργούμε μεταβλητές για τον MQTT broker για δηλώνοντας την πλατφόρμα, τις μεταβλητές για κάθε αισθητήρα ξεχωριστά οι οποίες αυτούσια μεταφέρονται στην ενότητα feeds όπως φαίνεται και παρακάτω. Επιπλέον, προσθέτουμε το API key το οποίο ορίζεται από τη πλατφόρμα για κάθε χρήστη ξεχωριστά.



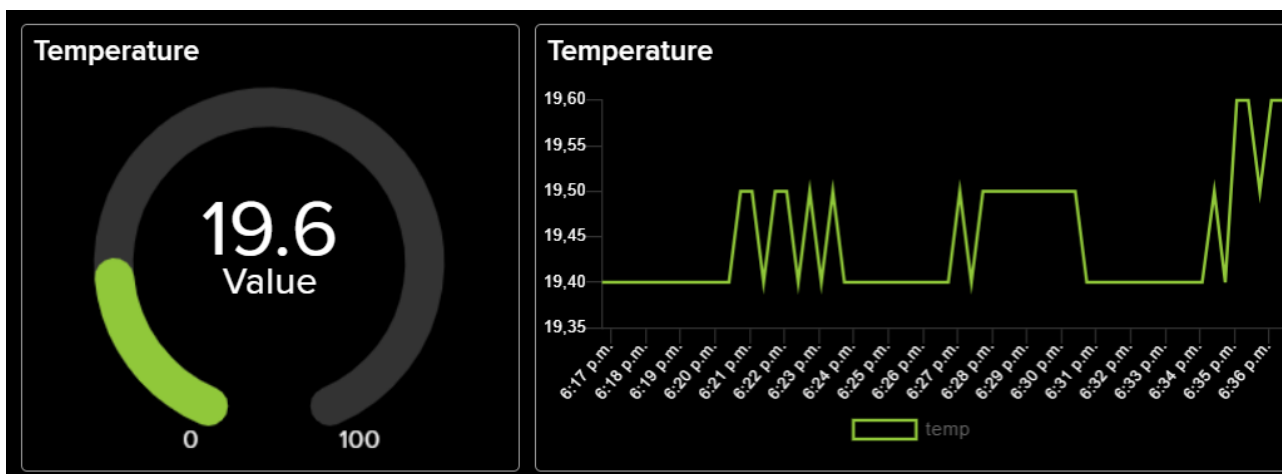
| Feed Name | Key | Last value | Recorded |
|-----------------------------------|----------|------------|------------------------|
| <input type="checkbox"/> hum | hum | 35 | less than a minute ago |
| <input type="checkbox"/> light | light | 12 | less than a minute ago |
| <input type="checkbox"/> mois | mois | 54 | less than a minute ago |
| <input type="checkbox"/> temp | temp | 30.10 | less than a minute ago |
| <input type="checkbox"/> tempsoil | tempsoil | 31.19 | less than a minute ago |

Εικόνα 41- Εμφάνιση μετρήσεων στο Adafruit io σε πραγματικό χρόνο

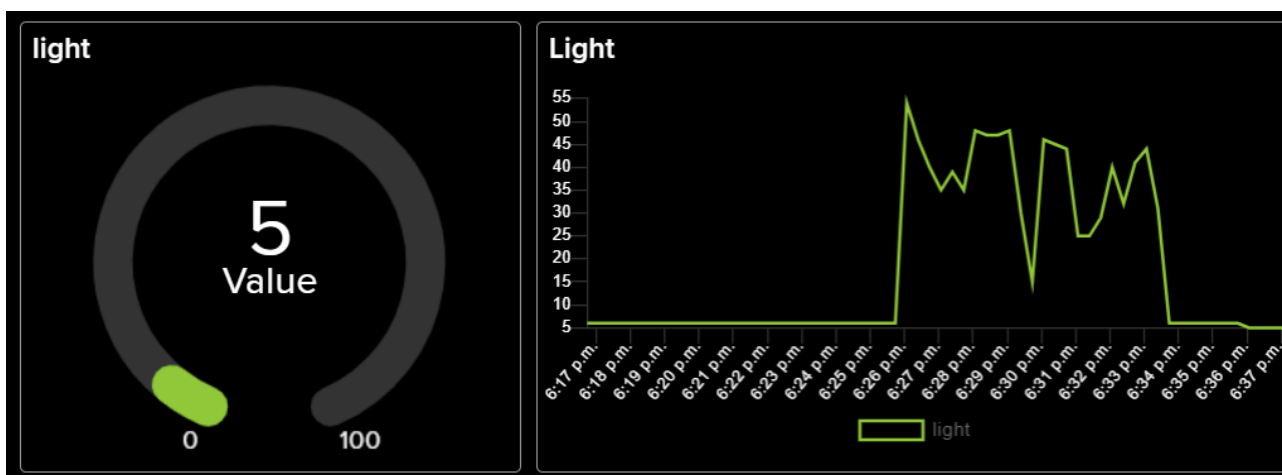
Στη συνέχεια, στην ενότητα dashboards δημιουργούμε για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά dashboard, γράφημα και monitor, παρόμοιο με το serial monitor του Arduino IDE. Η αποτύπωση των μετρήσεων βοηθάει τον χρήστη στην κατανόηση του έργου και τον εύκολο χειρισμό του καθώς το πρωτόκολλο υποστηρίζει public και subscribe ενώ το monitor τους developers καθώς μπορούμε άμεσα να δούμε πιο πακέτο δεδομένων δεν έφτασε και τον αντίστοιχο χρόνο του όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες. [42]



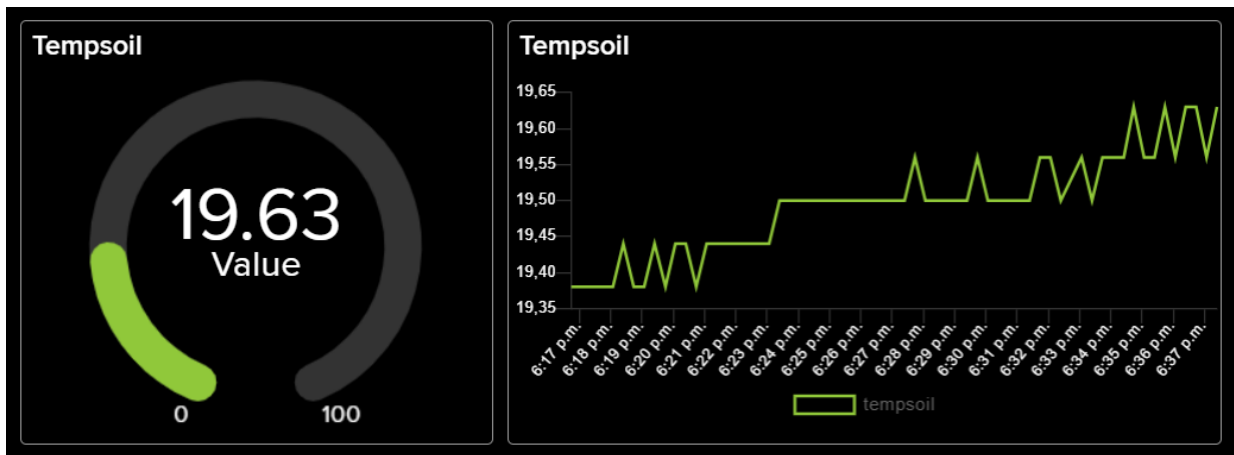
Εικόνα 42- Ενδείκτης και γράφημα της υγρασίας περιβάλλοντος



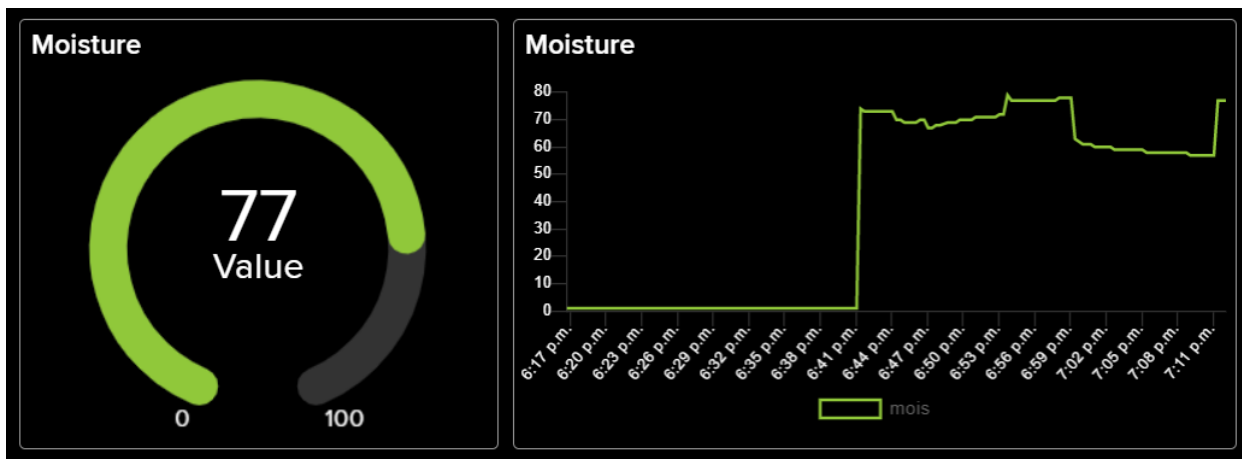
Εικόνα 43- Ενδείκτης και γράφημα της θερμοκρασίας περιβάλλοντος



Εικόνα 44- Ενδείκτης και γράφημα της φωτεινότητας



Εικόνα 45- Ενδείκτης και γράφημα της θερμοκρασίας χώματος



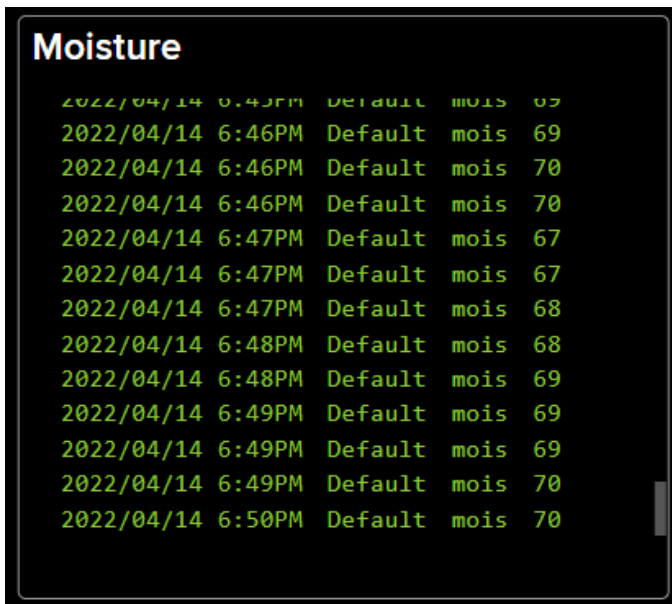
Εικόνα 46- Ενδείκτης και γράφημα της εδαφικής υγρασίας

```

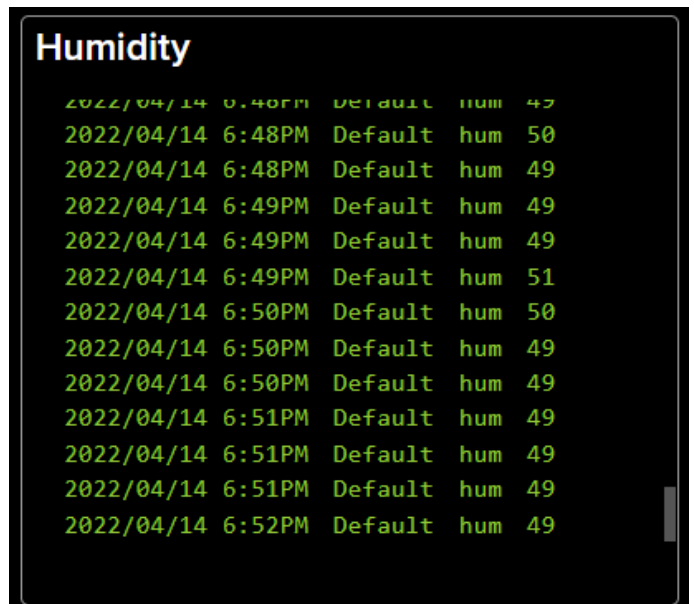
2022/04/14 6:37PM Default temp
19.60
2022/04/14 6:37PM Default tempsoil
19.63
2022/04/14 6:37PM Default mois 1
2022/04/14 6:37PM Default light 5
2022/04/14 6:38PM Default hum 49
2022/04/14 6:38PM Default temp
19.60
2022/04/14 6:38PM Default tempsoil
19.63
2022/04/14 6:38PM Default mois 1
2022/04/14 6:38PM Default light 5

```

Εικόνα 47- Παρακολούθηση όλων των μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο



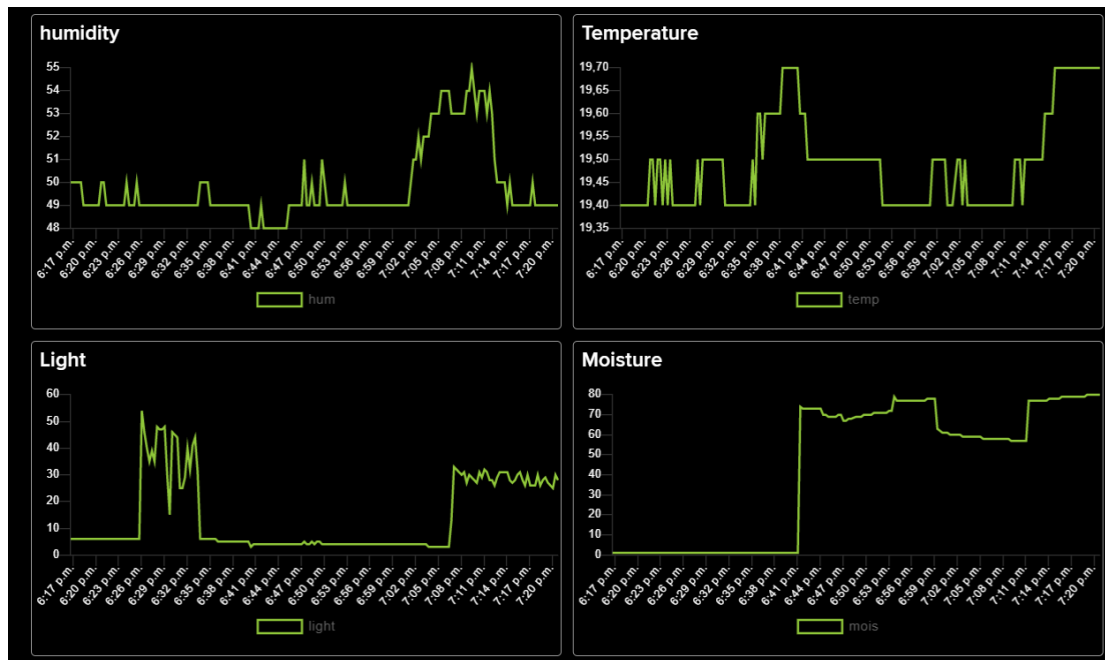
Εικόνα 48- Παρακολούθηση των δεδομένων της υγρασίας χώματος



Εικόνα 49- Παρακολούθηση των δεδομένων της υγρασίας περιβάλλοντος



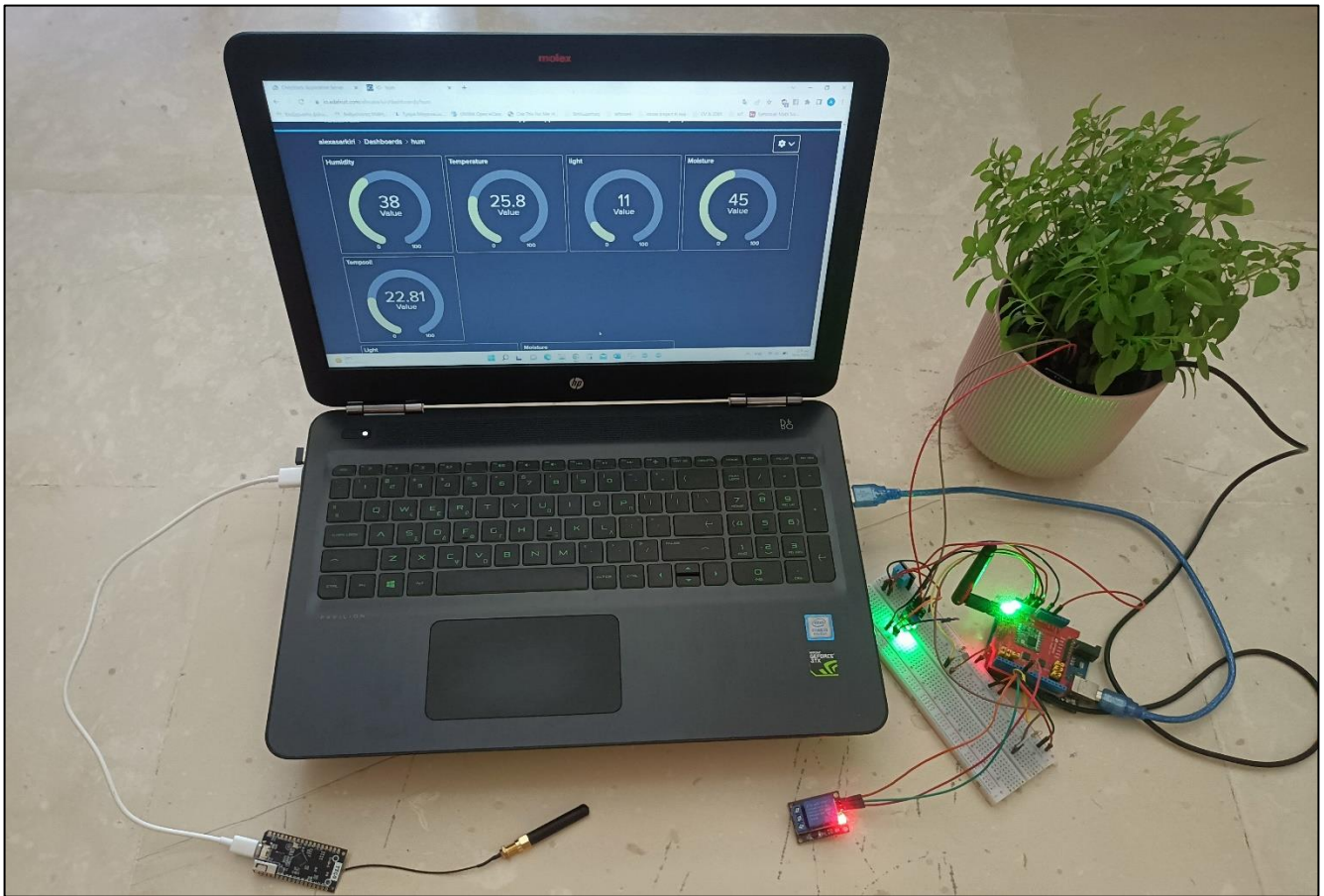
Εικόνα 50- Συνολική εικόνα των dashboards



Εικόνα 51- Συνολική εικόνα των γραφημάτων

Μετά το πέρας της εργασίας οι μόνοι περιορισμοί και προβλήματα που διαπιστώθηκαν είναι ότι στην δωρεάν έκδοσή του ο αριθμός των δεδομένων που επιτρέπεται να φτάνουν στην πλατφόρμα είναι περιορισμένα δηλαδή 30 αιτήματα το λεπτό . Επίσης, ορισμένες φορές ο server της Adafruit δεν βρίσκεται στη βέλτιστή του κατάσταση με αποτέλεσμα να χάνονται δεδομένα. Για την παρούσα εργασία τα προαναφερθέντα δεν αποτέλεσαν εμπόδιο καθώς ένα φυτό δεν απαιτεί σε πραγματικές συνθήκες στενή παρακολούθηση ωστόσο εάν πρόκειται για διαχείριση δεδομένων σε έναν ασθενή για παράδειγμα τότε σίγουρα θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη.

4.7 Οπτική Αποτύπωση Υλοποίησης Συστήματος

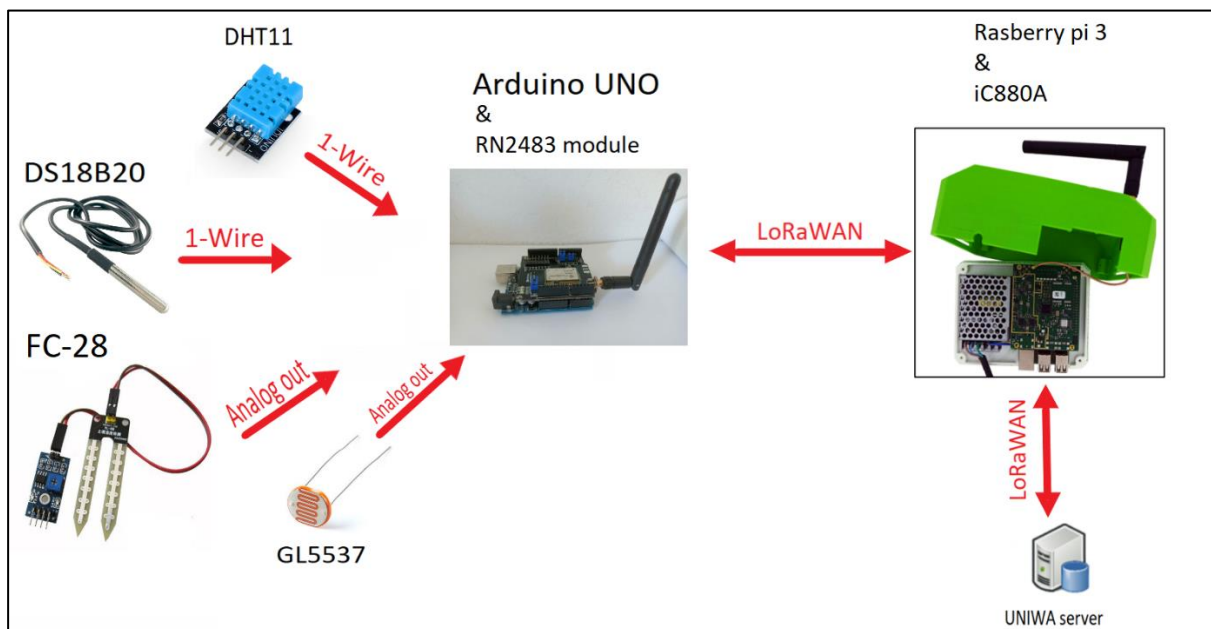


Εικόνα 52- Η ανάπτυξη του πρώτου κυβερνοφυσικού συστήματος

4.8 Αρχιτεκτονική Συστήματος με τη χρήση LoRaWAN πρωτοκόλλου- 2^η προσέγγιση

Η δεύτερη υλοποίηση στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί μια αναβάθμιση της πρώτης υλοποίησης. Με άλλα λόγια ο ένας κόμβος αποτελούμενος από αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος και χώματος επικοινωνεί με τη πλατφόρμα Arduino UNO και το RN2483 module. Τα δεδομένα αυτά στέλνονται μέσω του πρωτοκόλλου LoRaWAN στο gateway το οποίο αυτή τη φορά είναι ένα Raspberry pi 3 σε συνδυασμό με το IC880A τα οποία υποστηρίζουν μέχρι 8 διαφορετικά κανάλια ξεφεύγοντας από την point to point επικοινωνία. Στη συνέχεια, στόχος του project είναι τα δεδομένα να μεταφέρονται στο ChirpStack LoRaWAN Network Server και τέλος να στέλνονται στο Azure δημιουργώντας στο cloud dashboards και γραφήματα.

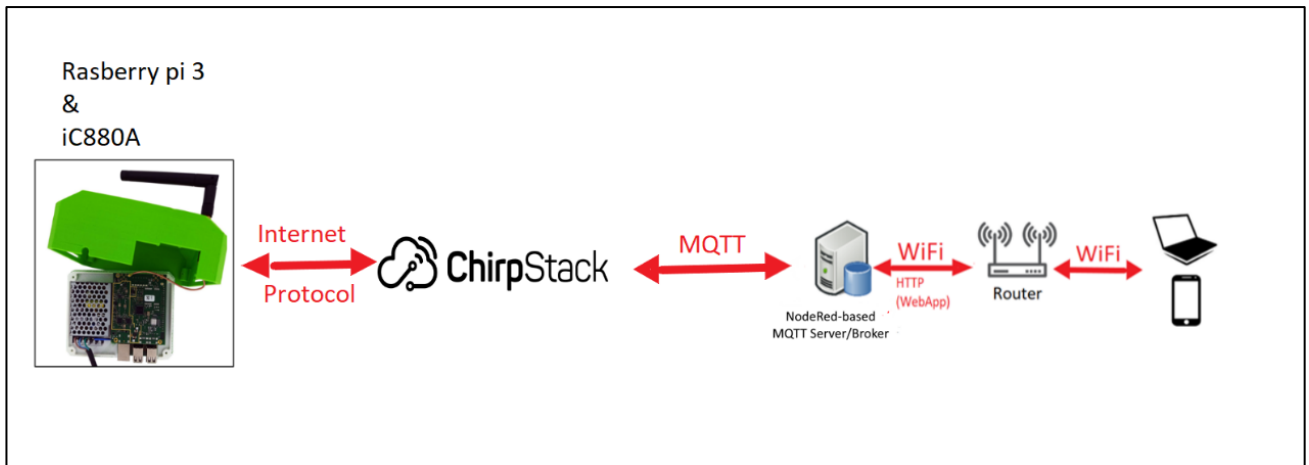
Πιο αναλυτικά, ο κόμβος των αισθητήρων αποτελείται από τους ίδιους αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας περιβάλλοντος και χώματος και φωτεινότητας που χρησιμοποιήθηκαν και στο πρώτο σύστημα. Η μόνη διαφοροποίηση που παρουσιάζει ο παρόν κόμβος είναι το RN2483 module το οποίο προτιμήθηκε έναντι του Dragino LoRa Shield λόγω ευκολίας της χρήσης του για βιβλιοθήκη LoRaWAN protocol. Τα δεδομένα με τη σειρά τους αποστέλλονται στο gateway, raspberry pi 3 και iC8080A board στα οποία έχει εγκατασταθεί πρώτα το λειτουργικό ChirpStack το προκειμένου οι τιμές αυτές να εμφανίζονται στο ChirpStack Application.



Εικόνα 53- Αρχιτεκτονική συστήματος με χρήση LoRaWAN

Το gateway στη συνέχεια επικοινωνεί με τον server που διαθέτει το εργαστήριο με τη βοήθεια του LoRaWAN πρωτόκολλου το οποίο με σειρά του δίνει μια στατική IP διεύθυνση

με την οποία τα gateways έχουν πρόσβαση στο ChirpStack Application Server. Στη συνέχεια, αξιοποιώντας την ασύρματη τεχνολογία WiFi και το πρωτόκολλο MQTT αποστέλλονται τα δεδομένα στο service cloud της Adafruit io με στόχο να εμφανίζονται στον χρήστη με μορφή γραφημάτων. Τέλος, ο server του node red αποστέλλει τις μετρήσεις στο *laptop* ή *tablet* του χρήστη, μέσω του πρωτόκολλου μεταφοράς υπερκειμένου προκειμένου μέσω διαγραμμάτων να έχει επίγνωση της συνολικής εικόνας ενώ σημαντικό είναι να τονιστεί πως υπάρχουν δυνατότητες από τους χρήστες μέσω *laptop* να ελέγξουν διάφορες λειτουργίες του συστήματος χάρη στη δυνατότητα του *MQTT* να αποστέλλει και να λαμβάνει δεδομένα (*publish / subscribe*).



Εικόνα 54- Συνέχεια αρχιτεκτονικής συστήματος με χρήση LoRaWAN

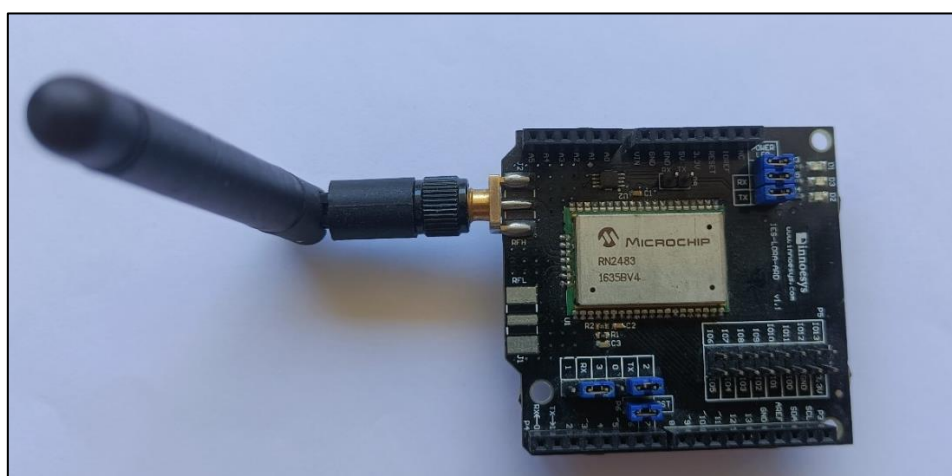
4.9 Επιλογή εξαρτημάτων

4.9.1 RN2483 Module

Το RN2483 είναι μια πλήρως πιστοποιημένη μονάδα που βασίζεται στην ασύρματη τεχνολογία LoRa. Το RN2483 επιλέχθηκε στο συγκεκριμένο project να λειτουργήσει ως shield πάνω από το Arduino Uno όπως αντίστοιχα είχε γίνει στο πρώτο πρακτικό μέρος με το Dragino LoRa shield. Χρησιμοποιεί μια διαμόρφωση διασποράς φάσματος όπου επιτρέπει μεγάλη εμβέλεια, χαμηλή ισχύ και υψηλή χωρητικότητα δικτύου.

Το ενσωματωμένο πρωτόκολλο LoRaWAN της μονάδας επιτρέπει την απρόσκοπτη συνδεσιμότητα με οποιαδήποτε υποδομή δικτύου συμβατή με το LoRaWAN, είτε αυτή είναι δημόσια είτε ιδιωτική. Η μονάδα είναι ειδικά σχεδιασμένη για ευκολία χρήσης, η οποία συντομεύει το χρόνο ανάπτυξης και επιταχύνει το χρόνο διάθεσης στην αγορά. Το RN2483 είναι η πρώτη μονάδα LoRa που πέρασε τις δοκιμές πιστοποίησης της LoRa Alliance. Είναι πιστοποιημένη σύμφωνα με την προδιαγραφή LoRaWAN 1.0.1, διασφαλίζοντας ότι οι σχεδιαστές μπορούν να ενσωματώσουν γρήγορα και εύκολα τις τελικές συσκευές τους σε οποιοδήποτε δίκτυο LoRaWAN.

Η μονάδα RN2483 εκπέμπει σε εύρος συχνοτήτων 868 MHz, δέχεται τάση τροφοδοσίας από 2.1 Volts έως 3.6 Volts και επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή μέσω του πρωτόκολλου UART. Επιπλέον, δίνει την ευελιξία στο χρήστη να μπορεί να προγραμματιστεί στο Arduino IDE είτε με AT commands είτε με έτοιμες βιβλιοθήκες που υπάρχουν στο διαδίκτυο. Παρακάτω δίδεται ο κώδικας για τη λήψη μετρήσεων από τους αισθητήρες και την αποστολή τους στο ChirpStack Network Application μέσω του gateway. [43]

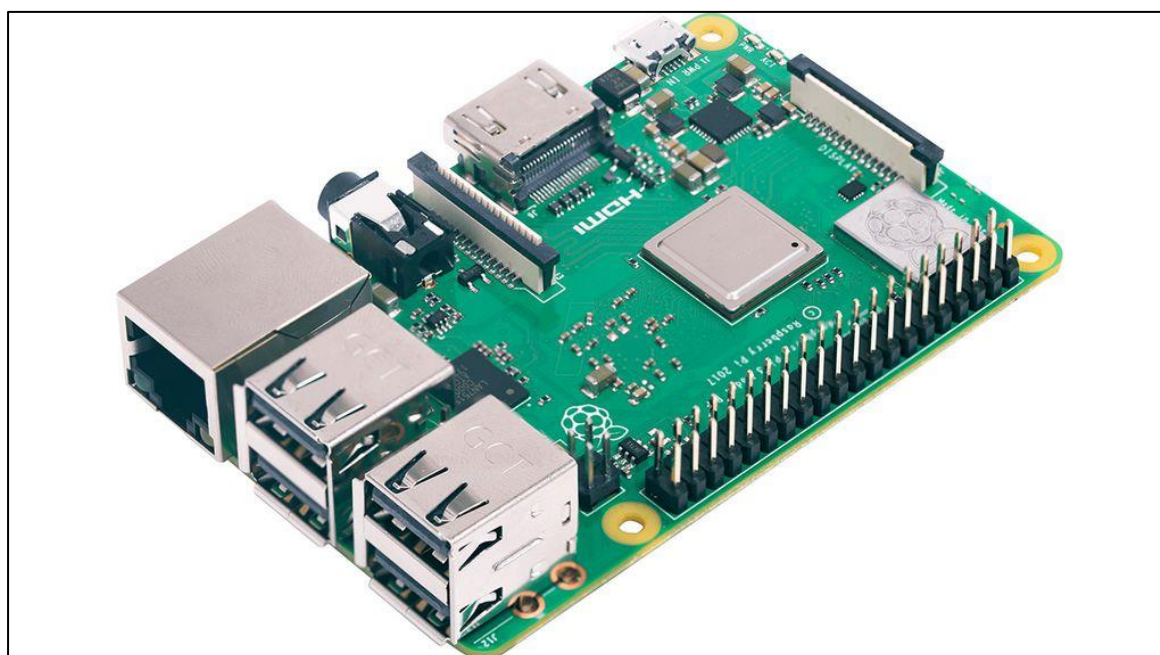


Εικόνα 55- RN2483 module

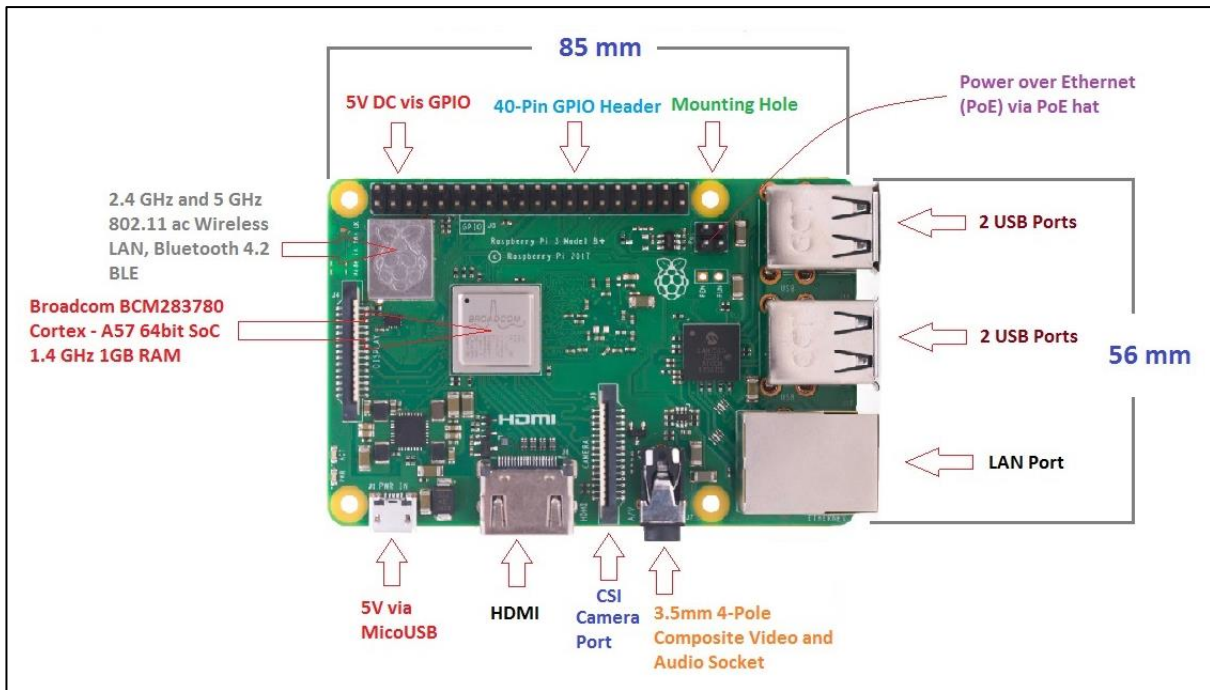
4.9.2 Raspberry Pi 3 Model B+

Το Raspberry Pi είναι ένας μικροϋπολογιστής χαμηλού κόστους που συνδέεται σε μια οθόνη υπολογιστή ή τηλεόραση και χρησιμοποιεί ένα τυπικό πληκτρολόγιο και ποντίκι. Είναι μια ικανή μικρή συσκευή που δίνει τη δυνατότητα σε άτομα όλων των ηλικιών να εξερευνήσουν την πληροφορική και να μάθουν να προγραμματίζουν σε γλώσσες όπως το Scratch και η Python. Είναι ικανός να κάνει όλα όσα δύναται να κάνει ένας επιτραπέζιος υπολογιστής, από την περιήγηση στο διαδίκτυο και την αναπαραγωγή βίντεο υψηλής ευκρίνειας μέχρι τη δημιουργία υπολογιστικών φύλλων, την επεξεργασία κειμένου και την αναπαραγωγή παιχνιδιών και άλλα. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε το raspberry pi 3 μοντέλο B+ να προγραμματιστεί κατάλληλα έτσι ώστε να αποτελέσει το gateway του δεύτερου project με την τεχνολογία LoRaWAN.

Το raspberry pi 3 model B+ αποτελείται από επεξεργαστή συχνότητας 1.4 Gigahertz ARM Cortex-A53 των 64 bit , Broadcom BCM2837B0, 1 GB RAM, τέσσερις θύρες USB 2.0 οι οποίες αξιοποιούνται για τη σύνδεση του με πληκτρολόγιο και ποντίκι. Επιπλέον, διαθέτει 40 ακροδέκτες GPIOs, microSD card slot, LAN και HDMI port , υποστηρίζει WIFI και Ethernet και λειτουργικά συστήματα Linux και Unix. [44]



Εικόνα 56- Raspberry Pi 3 Model B+ [44]

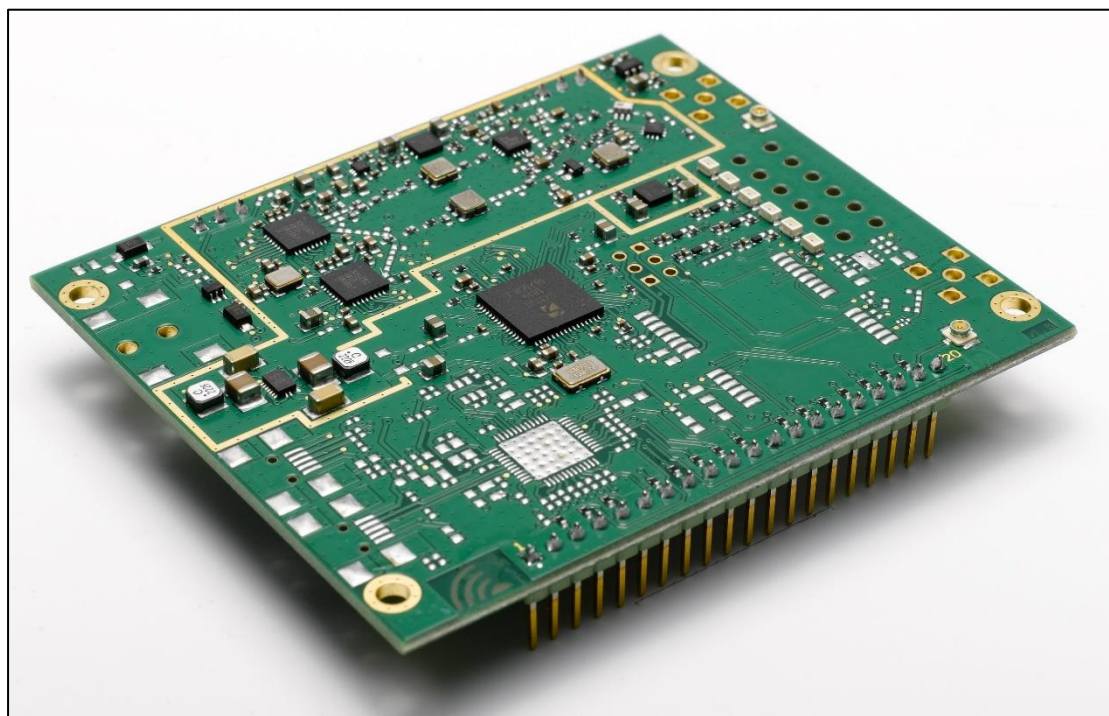


Eικόνα 57- Raspberry Pi 3 technical specifications [44]

4.9.3 IC880A Board

Η πλακέτα iC880A προσφέρει μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών στο χώρο του Διαδικτύου των Πραγμάτων. Πρόκειται για μια πολυκαναλική μονάδα πομπού και δέκτη υψηλής απόδοσης που έχει σχεδιαστεί για την ταυτόχρονη λήψη πολλών πακέτων LoRa. Το LoRa iC880A είναι σε θέση να λαμβάνει πακέτα από διαφορετικές τελικές συσκευές που αποστέλλονται με διαφορετικούς παράγοντες διασποράς σε έως και 8 κανάλια παράλληλα και αυτή η δυνατότητα αποτέλεσε το έναυσμα για μια διαφορετική υλοποίηση του project καθώς με αυτόν τον τρόπο προσπερνάται η point to point επικοινωνία. Επιπλέον, η iC880A board μπορεί να ενσωματωθεί σε μια πύλη σε συνδυασμό με κάποιο raspberry pi .

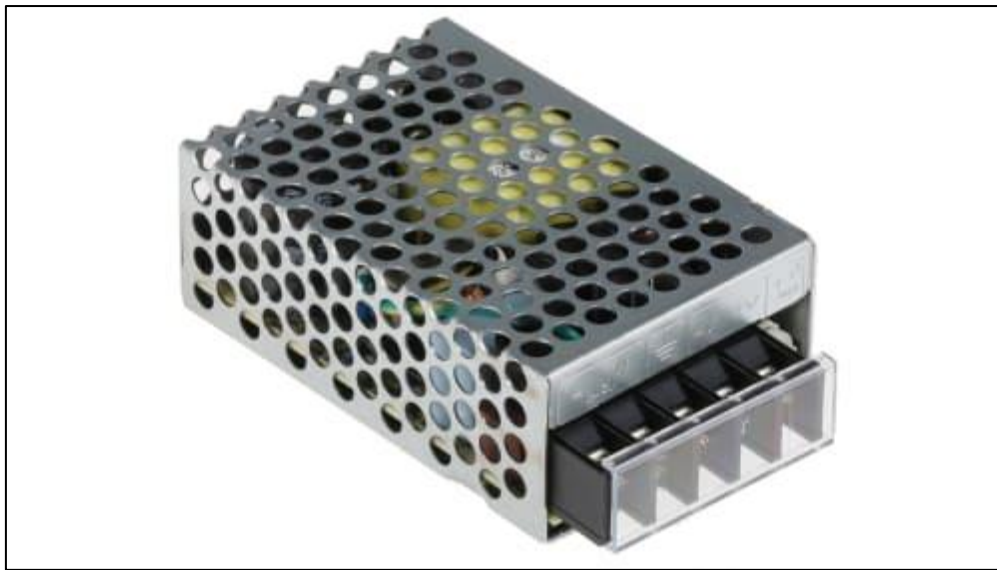
Παρέχει τη δυνατότητα να καταστεί δυνατή η στιβαρή επικοινωνία μεταξύ μιας πύλης LoRa και ενός τεράστιου αριθμού τελικών κόμβων LoRa που κατανέμονται σε μεγάλο εύρος αποστάσεων μέχρι 15 χιλιόμετρα. Επίσης, συνοδεύεται με εξωτερική κεραία, εκπέμπει σε ζώνη συχνοτήτων στα 868MHz, υποστηρίζει διεπαφή SPI και LoRa class A και B. [45]



Εικόνα 58- iC880A board [45]

4.9.4 Τροφοδοτικό RS 25-5

Το τροφοδοτικό RS 25-5 της εταιρίας MEAN WELL αποτελεί μέρος του gateway καθώς είναι υπεύθυνο να μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση των 230 Volts σε συνεχή τάση 5 Volts στο σύστημα raspberry pi και πλακέτα iC880A παρέχοντας ταυτόχρονα προστασία από βραχυκυκλώματα. Το σύνολο αυτών των εξαρτημάτων τοποθετήθηκε σε ειδικά σχεδιασμένη συσκευή με τρισδιάστατη εκτύπωση, όπως θα αποτυπωθεί παρακάτω, προκειμένου μεταφέρεται εύκολα και να προστατεύεται από κραδασμούς, σκόνης και άλλα. [46]



Εικόνα 59- Το τροφοδοτικό RS 25-5 [46]

4.10 Υλοποίηση συστήματος gateway

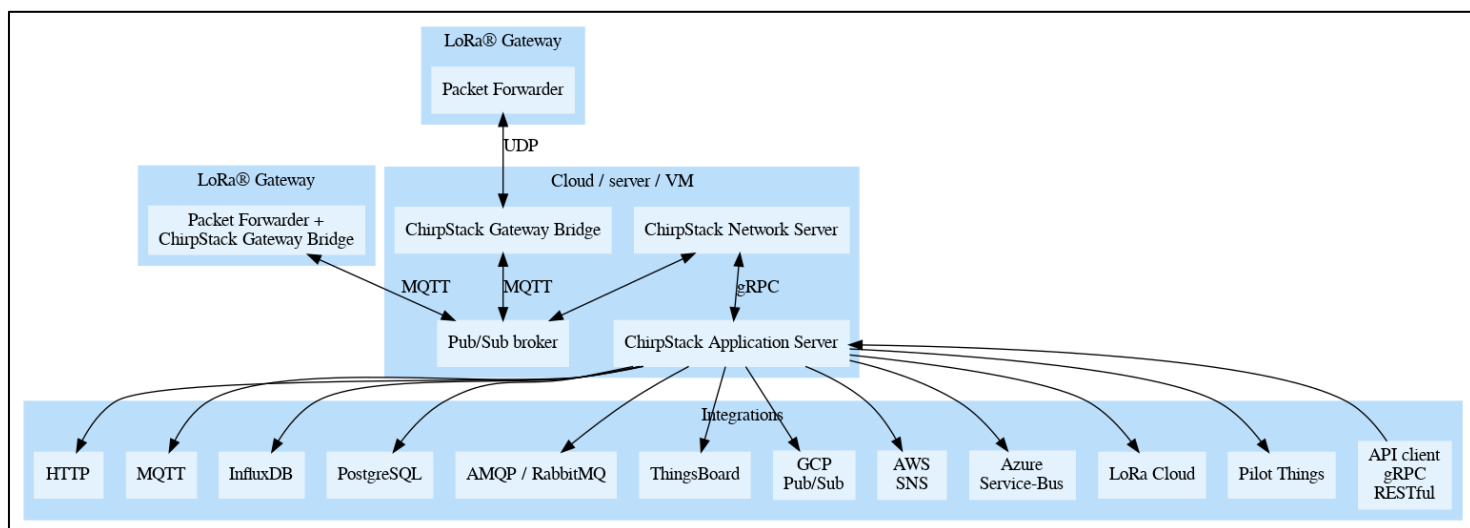


Εικόνα 60- Η συνολική οπτική αποτύπωση του gateway

4.11 ChirpStack

Το ChirpStack παρέχει στοιχεία ανοικτού κώδικα για δίκτυα LoRaWAN. Μαζί σχηματίζουν μια έτοιμη προς χρήση λύση που περιλαμβάνει μια φιλική προς το χρήστη διεπαφή ιστού για τη διαχείριση των συσκευών και API για την ενσωμάτωση. Η αρθρωτή αρχιτεκτονική καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση σε υπάρχουσες υποδομές. Όλα τα συστατικά έχουν άδεια χρήσης υπό την άδεια MIT και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπορικούς σκοπούς. Παρέχονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- ChirpStack Gateway Bridge
- ChirpStack Network Server
- ChirpStack Application Server
- ChirpStack Gateway OS



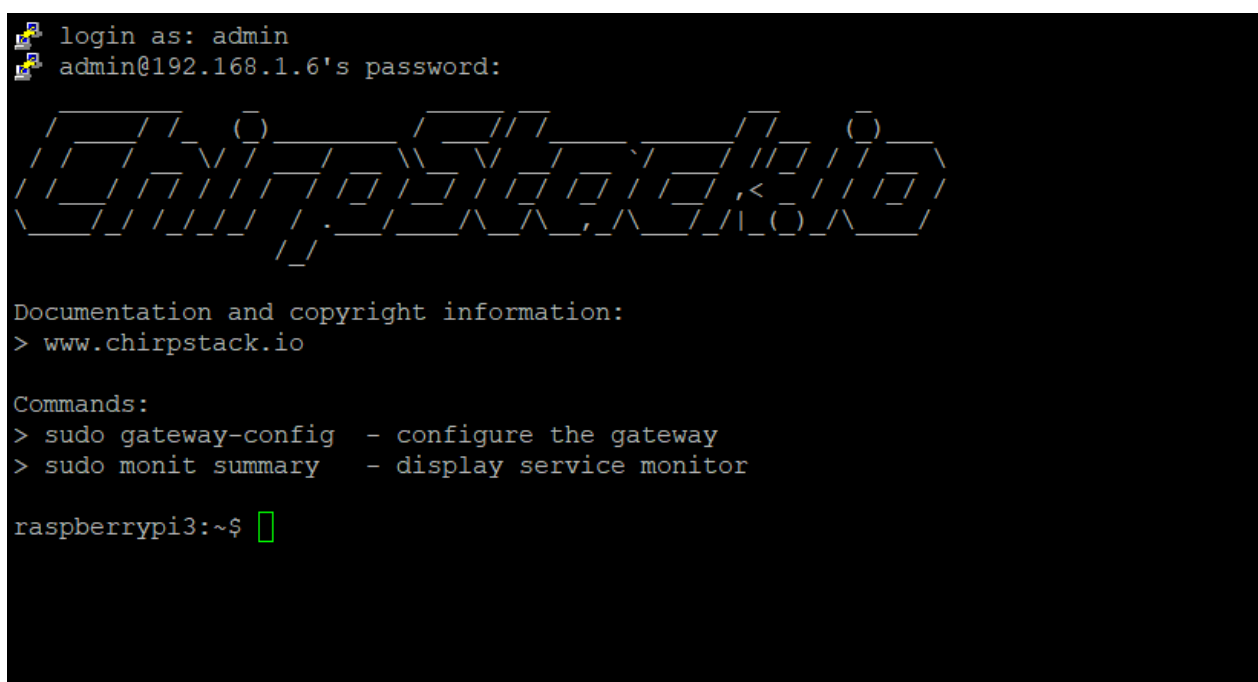
Εικόνα 61- Αρχιτεκτονική ChirpStack [47]

4.11.1 ChirpStack Gateway OS

Το ChirpStack Gateway OS είναι ένα ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα ανοικτού κώδικα με βάση το Linux, το οποίο μπορεί να τρέξει σε διάφορα μοντέλα πυλών LoRa. Ο στόχος είναι να διευκολυνθεί η έναρξη χρήσης του LoRaWAN και της στοίβας διακομιστών δικτύου ανοικτού κώδικα ChirpStack LoRaWAN Network Server με μερικά βήματα που απαιτούνται για την εγκατάσταση της πύλης ή των πυλών. Τα δεδομένα των συσκευών μπορούν να αποστέλλονται ή να λαμβάνονται μέσω MQTT, HTTP και να εγγράφονται απευθείας στην InfluxDB.

Για την εγκατάσταση του λειτουργικού συστήματος ChirpStack Gateway OS στο raspberry pi model b+ πρώτα θα πρέπει να περαστούν τα απαραίτητα αρχεία του

λειτουργικού συστήματος σε μια SD card η οποία στην συνέχεια τοποθετείται στην Micro SD card port του μικροϋπολογιστή. Συνδέοντας τον μικροϋπολογιστή με μια οθόνη υπολογιστή ή τηλεόρασης μέσω του HDMI και ζητούνται αρχικά στο login η συμπλήρωση ονόματος και κωδικού. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα με την επιτυχή εγκατάσταση του ChirpStack.io δίνονται και δύο βασικές εντολές για ρύθμιση του gateway και η προβολή οθόνης των υπηρεσιών. Ωστόσο αξίζει να τονιστεί ότι υπάρχει πλήθος ακόμα εντολών που μπορούν να εξυπηρετήσουν έναν χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες του εκάστοτε συστήματος.



```
login as: admin
admin@192.168.1.6's password:

ChirpStack.io

Documentation and copyright information:
> www.chirpstack.io

Commands:
> sudo gateway-config - configure the gateway
> sudo monit summary - display service monitor

raspberrypi3:~$
```

Εικόνα 62- Επιτυχής εγκατάσταση του ChirpStack Gateway OS

Πληκτρολογώντας την εντολή `sudo monit summary` διαπιστώνεται ότι το συγκεκριμένο gateway, δηλαδή συνδυαστικά το raspberry pi και η πλακέτα iC880A ως shield, είναι πλήρως λειτουργικά το chirpstack network server, το gateway bridge και το concentrator ενώ για το application service χρήζει εγκατάστασης. Για την εύρυθμη λειτουργία του application service διενεργούνται οι κατάλληλες ενέργειες με την βοήθεια της εντολή `sudo gateway-config` και επαληθεύεται η ορθότητα των αλλαγών με την δεύτερη εντολή όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στο σημείο αυτό είναι εφικτή η δημιουργία του application γίνεται στο επίσημο site του chirpstack με σκοπό την αποστολή των δεδομένων που λαμβάνονται από τις μετρήσεις των αισθητήρων του φυτού.


```
Documentation and copyright information:  
> www.chirpstack.io
```

```
Commands:
```

```
> sudo gateway-config - configure the gateway  
> sudo monit summary - display service monitor
```

```
raspberrypi3:~$ sudo monit summary  
Password:  
Monit 5.27.2 uptime: 2m
```

| Service Name | Status | Type |
|-------------------------------|--------|---------|
| raspberrypi3 | OK | System |
| chirpstack-network-server | OK | Process |
| chirpstack-gateway-bridge | OK | Process |
| chirpstack-concentrator | OK | Process |
| chirpstack-application-server | OK | Process |

```
raspberrypi3:~$ █
```

Εικόνα 63- Επιτυχής εγκατάσταση των network, bridge και application server

4.11.2 ChirpStack Gateway Bridge

Η γέφυρα πύλης ChirpStack βρίσκεται μεταξύ του Packet Forwarder και του MQTT broker. Μετατρέπει τη μορφή του Packet Forwarder σε μορφή δεδομένων που χρησιμοποιείται από τα στοιχεία του ChirpStack. Παρέχει επίσης ενσωματώσεις με διάφορες πλατφόρμες cloud, όπως το GCP Cloud IoT Core και το Azure IoT Hub. Με άλλα λόγια το ChirpStack Gateway Bridge χειρίζεται την επικοινωνία με τις πύλες LoRaWAN.

4.11.3 ChirpStack Network Server

Το ChirpStack Network Server είναι ένας διακομιστής δικτύου LoRaWAN, υπεύθυνος για τη διαχείριση της κατάστασης του δικτύου. Έχει γνώση των ενεργοποιήσεων συσκευών στο δίκτυο και είναι σε θέση να χειρίζεται αιτήσεις σύνδεσης όταν οι συσκευές θέλουν να ενταχθούν στο δίκτυο.

Όταν λαμβάνονται δεδομένα από πολλαπλές πύλες, ο διακομιστής δικτύου ChirpStack αποδιδιπλασιάζει αυτά τα δεδομένα και τα προωθεί ως ένα ωφέλιμο φορτίο στον διακομιστή εφαρμογών ChirpStack. Όταν ένας διακομιστής εφαρμογών πρέπει να στείλει

δεδομένα πίσω σε μια συσκευή, ο διακομιστής δικτύου ChirpStack θα κρατήσει αυτά τα στοιχεία σε ουρά, μέχρι να είναι σε θέση να τα στείλει σε μια από τις πύλες.

4.11.4 ChirpStack Application Server

Το ChirpStack Application Server είναι ένας διακομιστής εφαρμογών LoRaWAN ανοικτού κώδικα, μέρος της στοίβας διακομιστών δικτύου LoRaWAN ανοικτού κώδικα ChirpStack. Είναι υπεύθυνος για το μέρος της "απογραφής" των συσκευών μιας υποδομής LoRaWAN, το χειρισμό των join-request και το χειρισμό και την κρυπτογράφηση των ωφέλιμων φορτίων των εφαρμογών. Προσφέρει μια διεπαφή web όπου μπορούν να διαχειριστούν χρήστες, οργανισμοί, εφαρμογές και συσκευές.

Αρχικά, για τη δημιουργία application server πληκτρολογούμε την IP διεύθυνση (και στο τέλος :8080) η οποία λαμβάνεται είτε σε τοπικό επίπεδο δηλαδή από το router το οποίο επικοινωνεί το raspberry pi είτε μια σταθερή IP address όπως γίνεται στη συγκεκριμένη περίπτωση η οποία δίδεται από κεντρικό server ερευνητικού εργαστηρίου του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στη συνέχεια, δημιουργούμε προφίλ για κάθε gateway του εξυπηρετεί ο συγκεκριμένος server συμπληρώνοντας ένα όνομα, μια μικρή περιγραφή για τον σκοπό που εξυπηρετεί το κάθε gateway και το gateway identity το οποίο είναι μοναδικό για κάθε συσκευή. [47]

| Last seen | Name | Gateway ID | Network server | Gateway activity (30d) |
|-------------------|-----------------------|------------|----------------|------------------------|
| a few seconds ago | Alexandra_IMST880 | | NS | |
| a month ago | DRAGINOPG1301 | | NS | |
| a few seconds ago | Efthimis-Dragino-LG02 | | NS | |
| 17 days ago | Efthimis-LopyGW | | NS | |
| 4 hours ago | LOPY_GW_Nikos | | NS | |
| 20 days ago | Lorix_PADA | | NS | |
| a few seconds ago | PADA_GW_IMST880 | | NS | |

Εικόνα 64- Δημιουργία προφίλ των gateways στο ChirpStack

Με τη δημιουργία προφίλ του gateway υπάρχει η δυνατότητα να δοθούν πληροφορίες όπως το gateway identity, η τοποθεσία που βρίσκεται σε πραγματικό χρόνο (εφόσον το σύστημα διαθέτει GPS), την ημερομηνία και ακριβή ώρα που είναι ενεργό όπως φαίνεται και παρακάτω. Επιπλέον, δίδονται πληροφορίες για την συχνότητα εκπομπής, των αριθμό των πακέτων που λήφθηκαν και μεταδόθηκαν στις αντίστοιχες συχνότητες. Τέλος, από το πεδίο του live lorawan frames το οποίο υπάρχει τόσο στο εσωτερικό του προφίλ που δημιουργούμε στο πεδίο gateways όσο και στο application φαίνονται τα πακέτα που λαμβάνει το gateway συνοδευόμενο με πληροφορίες της ώρας, της συχνότητας, του spreading factor, της τιμής που έλαβε από τον κόμβο σε κρυπτογραφημένη μορφή και άλλα.

Εικόνα 65- Πληροφορίες ενεργοποίησης του gateway εσωτερικά του προφίλ του

| Time | Status | Frequency | SF | BW | Port | FCnt | DevAddr |
|-------------------|---------------------|-----------|-----|-------|----------|----------|-------------------|
| Jun 14 5:46:25 PM | UnconfirmedDataUp | 867.5 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 41 | DevAddr: 00b87403 |
| Jun 14 5:46:23 PM | UnconfirmedDataUp | 868.1 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 40 | DevAddr: 00b87403 |
| Jun 14 5:46:20 PM | UnconfirmedDataUp | 867.9 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 39 | DevAddr: 00b87403 |
| Jun 14 5:46:18 PM | UnconfirmedDataUp | 868.3 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 38 | DevAddr: 00b87403 |
| Jun 14 5:46:16 PM | UnconfirmedDataDown | 868.5 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 15 | DevAddr: 00b87403 |
| Jun 14 5:46:16 PM | ConfirmedDataUp | 868.5 MHz | SF7 | BW125 | FPort: 1 | FCnt: 37 | DevAddr: 00b87403 |

Εικόνα 66- Εμφάνιση των πακέτων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Στη συνέχεια, είναι εφικτή η δημιουργία application στο αντίστοιχο πεδίο συμπληρώνοντας το όνομα που επιθυμούμε να έχει με την αντίστοιχη περιγραφή του, στο service profile που επιθυμούμε να υπάγεται όπου στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο server του ερευνητικού εργαστηρίου, όπως φαίνεται και παρακάτω. Επίσης, εσωτερικά του application θα πρέπει να δημιουργηθεί ένα device για κάθε κόμβο που έχει το σύστημα οπότε εκεί επιλέγεται και η κατάλληλη διαμόρφωση, αν η μεταφορά δεδομένων θα είναι με μορφή OTAA ή ABP και τα αντίστοιχα activation keys τα οποία συμπληρώνονται στο αντίστοιχο κομμάτι του κώδικα του κόμβου. Επιπλέον, υπάρχει πεδίο lorawan frames όπου σε πραγματικό χρόνο φαίνονται τα πακέτα που λαμβάνει το gateway συνοδευόμενα με ποικίλες πληροφορίες όπως αναλύθηκε.

Applications / Create

Application name *
Alexandra-Sarkiri-Thesis
The name may only contain words, numbers and dashes.

Application description *
Digital-twin

Service-profile *
UNIWA_SERVICE ▼
The service-profile to which this application will be attached. Note that you can't change this value after the application has been created.

CREATE APPLICATION

Εικόνα 67- Δημιουργία application profile

Applications + CREATE

| ID | Name | Service-profile | Description |
|----|--|-----------------|----------------------------------|
| 5 | Alexandra-Sarkiri-Thesis | UNIWA_SERVICE | Digital-twin |
| 14 | BBC-micro-OTA | UNIWA_SERVICE | BBC-micro-OTA |
| 7 | DHT_APP | UNIWA_SERVICE | DHT_APP |
| 13 | Efthymios_Tserepas_msciot19009 | UNIWA_SERVICE | An application for testing nodes |
| 3 | GPS_APP | UNIWA_SERVICE | GPS_APP |
| 4 | LoPyNikos | UNIWA_SERVICE | LoPy LoRA GW_Node |
| 8 | MSC_Lab | UNIWA_SERVICE | MSC_Lab |
| 6 | Pavlos-Development | UNIWA_SERVICE | Pavlos-Development |

Εικόνα 68- Εμφάνιση όλων των προφίλ εφαρμογών που υποστηρίζονται από τον UNIWA server

Applications / [Alexandra-Sarkiri-Thesis](#) / Devices / [m](#) DELETE

DETAILS CONFIGURATION KEYS (OTAA) ACTIVATION DEVICE DATA LORAWAN FRAMES

Details

| | |
|------------------|----------------------------|
| Name | m |
| Description | m |
| Device-profile | Lora_1.0.1 |
| Multicast groups | |

Status

| | |
|--------------|----------------------|
| Last seen at | Jun 14, 2022 5:59 PM |
| State | enabled |

Εικόνα 69- Πληροφορίες για τον κόμβο και το gateway στο ChirpStack Application Server

4.12 Κώδικας Λήψης Μετρήσεων και Αποστολής στο ChirpStack Network Server

```
#include <rn2xx3.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DHT.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS A3

SoftwareSerial mySerial(2, 3);

rn2xx3 myLora(mySerial);
DHT dht(A0, DHT11);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature ds18b20(&oneWire);

int hum;
float temp;
int light;
int mois;
float tempsoil;

void setup()
{
  //output LED pin
  pinMode(13, OUTPUT);
  pinMode(A1, INPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  dht.begin();
  ds18b20.begin();

  Serial.begin(57600);
  mySerial.begin(9600);
  Serial.println("Startup");

  initialize_radio();
}
```

```

myLora.tx("TTN Mapper on TTN Enschede node");
delay(2000);
}

void initialize_radio()
{

pinMode(7, OUTPUT);
digitalWrite(7, LOW);
delay(500);
digitalWrite(7, HIGH);

delay(100);
mySerial.flush();

myLora.autobaud();

String hweui = myLora.hweui();
while (hweui.length() != 16)
{
Serial.println(" To RN2xx3 den epikoinwnei.");
Serial.println(hweui);
delay(10000);
hweui = myLora.hweui();
}

Serial.println("Me th xrhsh OTAA, kataxwriste to DevEUI: ");
Serial.println(myLora.hweui());
Serial.println("RN2xx3 firmware version:");
Serial.println(myLora.sysver());

Serial.println("Prospatheia sindesis me TTN");
bool join_result = false;

```

```

    join_result = myLora.initABP("String addr", "String AppSKey",
"String NwkSKey");

while (!join_result)
{
    Serial.println("Den katafere na sindethei. Elegxos kleidwn.");
    delay(60000);
    join_result = myLora.init();
}
Serial.println("Successfully joined TTN");

}

void loop()
{

    getSensorData();
    String Data= String(hum)+ ',' + String(temp)+ ',' + String(light)+
',' + String(mois)+ ',' + String(tempsoil);
    myLora.tx(Data);
    // myLora.tx(String(hum));
    // myLora.tx(String(temp));
    // myLora.tx(String(light));
    // myLora.tx(String(mois));
    // myLora.tx(String(tempsoil));

    delay(10000);
}

void getSensorData() {
    temp = dht.readTemperature();
    hum = dht.readHumidity();
    Serial.print( String(hum) + ";" );
    Serial.print( String(temp) + ";" );
    int lightadc = analogRead(A2);
    light = map(lightadc, 0, 1023, 0, 100);
}

```

```

Serial.print( String(light) + ";" );
int moisadc = analogRead(A1);
mois = map(moisadc, 0, 1023, 100, 0);
Serial.print( String(mois) + ";" );
ds18b20.requestTemperatures();
tempsoil = ds18b20.getTempCByIndex(0);
Serial.println( String(tempsoil));
Serial.print("Humidity: " + String(hum) + "% ");
Serial.print("Temperature: " + String(temp) + "C ");
Serial.print("Moisture: " + String(mois) + "% ");
Serial.print("Light: " + String(light) + "Lux ");
Serial.println ("Soil temperature: " + String(tempsoil) + "C ");
}

```

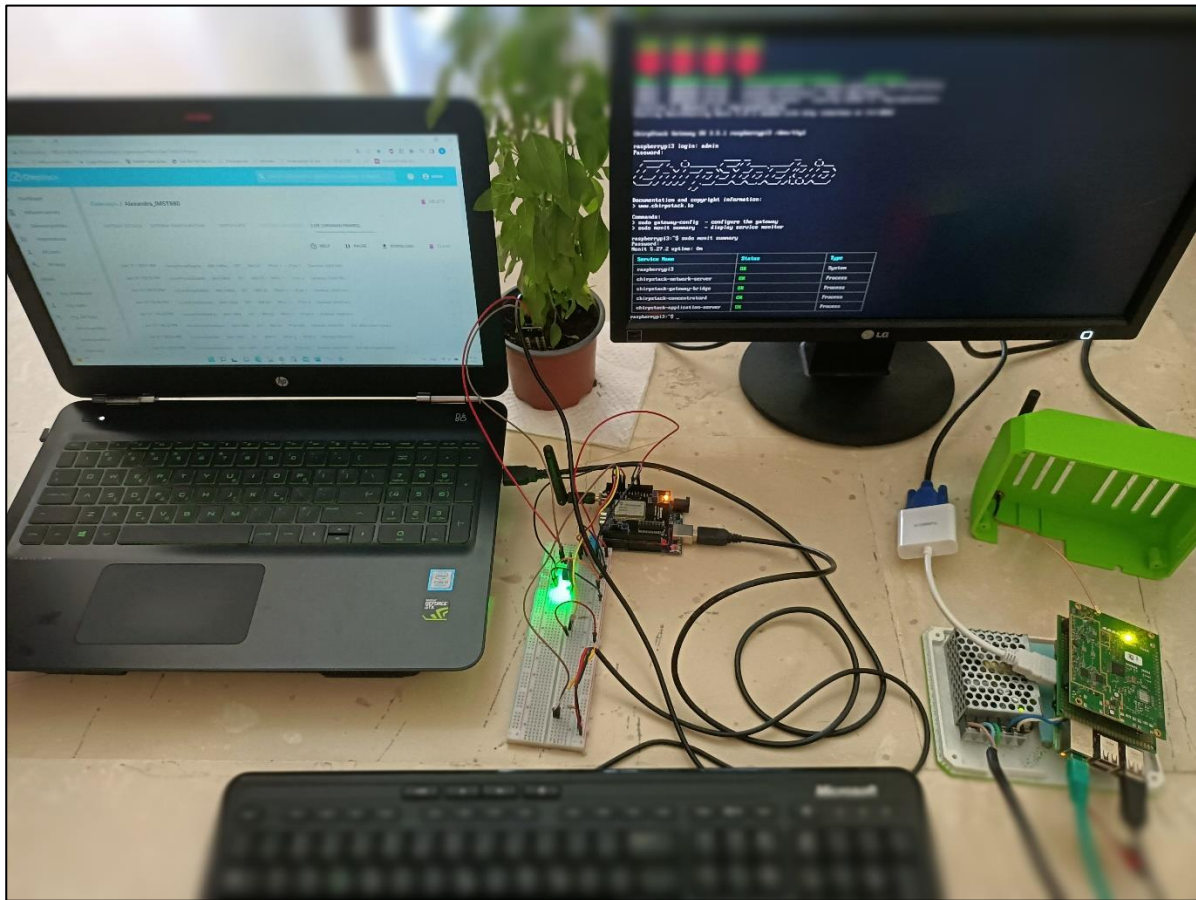
```

COM4
17:49:07.377 -> TXingTX successful and acknowledged
17:49:09.712 -> 43;26.90;10;2;26.94
17:49:10.225 -> Humidity: 43% Temperature: 26.90C Moisture: 2% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C
17:49:31.983 -> TXingTX successful and acknowledged
17:49:34.359 -> 43;26.90;10;1;26.94
17:49:34.826 -> Humidity: 43% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C
17:49:56.599 -> TXingTX successful and acknowledged
17:49:58.925 -> 43;26.90;10;1;26.94
17:49:59.438 -> Humidity: 43% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C
17:50:21.192 -> TXingTX successful and acknowledged
17:50:27.903 -> 43;26.90;10;1;26.94
17:50:28.410 -> Humidity: 43% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C
17:50:47.887 -> TXingTX successful and acknowledged
17:50:50.222 -> 43;26.90;10;1;26.94
17:50:50.729 -> Humidity: 43% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C
17:51:12.473 -> TXingTX successful and acknowledged
17:51:14.846 -> 44;26.90;10;1;27.00
17:51:15.359 -> Humidity: 44% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 27.00C
17:51:37.089 -> TXingTX successful and acknowledged
17:51:39.460 -> 44;26.90;10;1;26.94
17:51:39.969 -> Humidity: 44% Temperature: 26.90C Moisture: 1% Light: 10Lux Soil temperature: 26.94C

```

Εικόνα 70- Serial Monitor του Arduino IDE

4.13 Υλοποίηση Συστήματος



Εικόνα 71- Η συνολική εικόνα ανάπτυξης κυβερνοφυσικού συστήματος

4.14 Microsoft Azure και Node-red Services

Αρχικός στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία των dashboards και γραφημάτων να γινόταν με τη βοήθεια της υπηρεσίας υπολογιστικού νέφους Microsoft Azure. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα επιλέχθηκε ως ένα πιο επαγγελματικό εργαλείο που χρησιμοποιείται κατεξοχήν από εταιρείες και οργανισμούς επομένως αποτέλεσε μια αναβάθμιση της δυσκολίας στην παρούσα εργασία χωρίς ωστόσο να είναι γνωστός εξ αρχής ο βαθμός της.

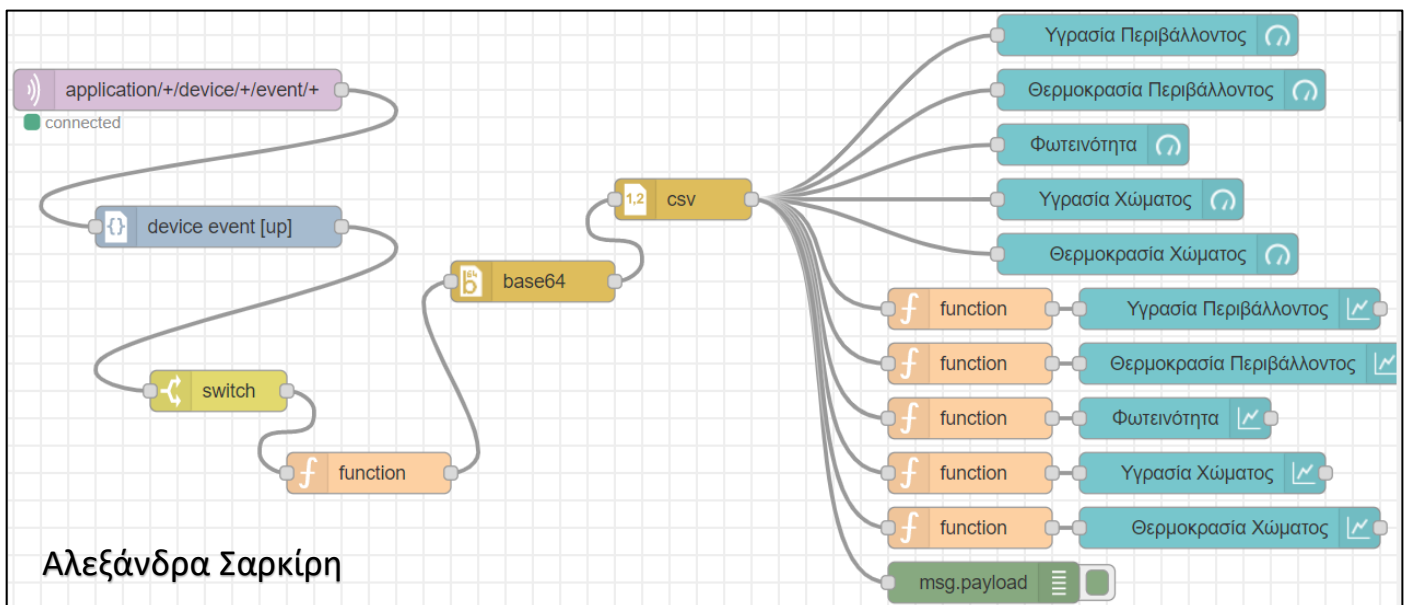
Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος απαιτείται η δημιουργία IoT Hub προκειμένου να συνδεθεί το gateway με την πλατφόρμα Azure, service bus για την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ IoT hub και ChirpStack, η βάση δεδομένων PostgreSQL, η κρυφή μνήμη Redis και τέλος εικονικές μηχανές για τη φιλοξενία των στοιβών. Αρχικά, δημιουργήθηκε στην πλατφόρμα ένας δίαυλος υπηρεσιών προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ του ChirpStack και του Azure. Επιπλέον, δημιουργήθηκε η ουρά συμβάντων πύλης η οποία χρησιμοποιείται από το IoT Hub για τη δημοσίευση των λαμβανόμενων συμβάντων της πύλης και παράλληλα ουράς συμβάντων του ChirpStack application server που θα χρησιμοποιείται από τον από εκείνον για τη δημοσίευση των συμβάντων της συσκευής.

Η διαδικασία συνεχίστηκε με δημιουργία κόμβου IoT ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί από τις πύλες για την επικοινωνία με τον ChirpStack Network Server. Οι πύλες συνδέονται με τον κόμβο χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο MQTT. Τα συμβάντα της πύλης γράφονται από το IoT Hub σε μια ουρά διαύλου υπηρεσιών και τέλος έγιναν οι κατάλληλες ρυθμίσεις για τη δρομολόγηση μηνυμάτων. Οι ενέργειες σε αυτήν την πλατφόρμα σταμάτησαν σε αυτό το σημείο καθώς η πολυπλοκότητα και η δυσκολία αυξήθηκαν σε μεγάλο βαθμό και σε συνδυασμό με τις χρεώσεις που απαιτούνταν στη συνέχεια θεωρήθηκε εύλογο να βρεθεί εναλλακτική.

Ως εναλλακτική αποφασίστηκε να αξιοποιηθεί το εργαλείο ανάπτυξης ροών Node-red μέσω του οποίου θα στέλνονται οι τιμές των αισθητήρων από το ChirpStack Application με τελικό στόχο την δημιουργία ενδείκτων και γραφημάτων προς διευκόλυνση του χρήστη. Το Node-red αποτελεί μια ιδανική επιλογή στα πλαίσια εργασίας εκπαιδευτικού χαρακτήρα καθώς υποστηρίζεται δωρεάν, περιλαμβάνει ευρύ φάσμα κόμβων και είναι δυνατή η δημιουργία ροών χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα η ροή ξεκινάει με έναν mqtt κόμβο ο οποίος με κατάλληλες ρυθμίσεις χρησιμοποιείται για τη λήψη μηνυμάτων που δημοσιεύονται από τον MQTT broker που εκτελείται στο gateway. Εν ακολουθία, υπάρχει ένας κόμβος device

event up ο οποίος αναλύει τα ωφέλιμα φορτία που παράγονται από το mqtt στον κόμβο σε αντικείμενα και θα εκτελεί φιλτράρισμα με βάση τους τύπους συμβάντων και μετά προστίθεται ένας κόμβος switch καθώς το ChirpStack Network Server λαμβάνει δεδομένα από διαφορετικά gateways του ερευνητικού εργαστηρίου και ο κόμβος αυτός ρυθμίζεται έτσι ώστε να συνεχίζουν τα δεδομένα μόνο του παρόντος gateway. Ο κόμβος της συνάρτησης προστέθηκε σε περίπτωση που χρειαστεί σε μελλοντική χρήση να γίνει downlink ης συσκευής επομένως σε αυτό το βήμα δεν κρίνεται απαραίτητος.

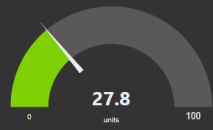


Εικόνα 72- Δημιουργία ροής στο node-red

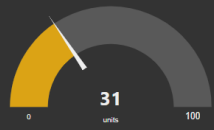
Ένα από τις προκλήσεις που κληθήκαμε να αντιμετωπίσουμε είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα που μεταφέρονται μέσω του πρωτόκολλου LoRaWAN κωδικοποιούνται ως γράμματα και σύμβολα με αποτέλεσμα να μην ήταν δυνατή η δημιουργία dashboards και γραφημάτων. Για τον λόγο αυτό προστέθηκε ο κόμβος base64 ο οποίος επιτυγχάνει την αποκωδικοποίηση των δεδομένων μετατρέποντας δηλαδή τα δεδομένα ξανά σε αριθμούς. Η δεύτερη πρόκληση που έχρηζε λύση ήταν ο διαχωρισμός των πέντε μεταβλητών που περιέχει κάθε πακέτο δεδομένων που φτάνει στο node-red. Έτσι έγινε χρήση του κόμβου csv ο οποίος διαχωρίζει τη κάθε μεταβλητή που αντιστοιχεί σε μία μέτρηση διαφορετικού αισθητήρα και καταλήγει στους κατάλληλους ενδείκτες. [48]

Ενδείκτες

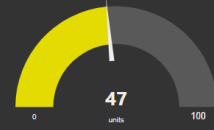
Θερμοκρασία Περιβάλλοντος



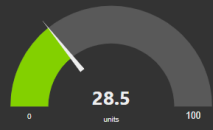
Φωτεινότητα



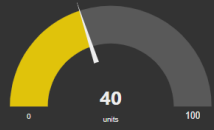
Υγρασία Χώματος



Θερμοκρασία Χώματος



Υγρασία Περιβάλλοντος

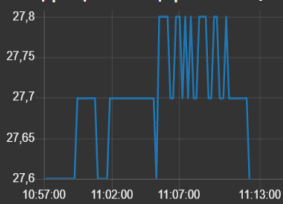


Αλεξάνδρα Σαρκίρη

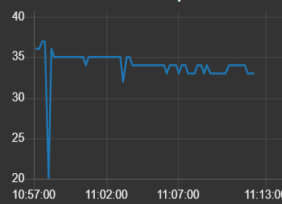
Εικόνα 73- Περιβάλλον Χρήστη Γλοπιοιμένου Συστήματος, Ενδείκτες

Γραφήματα

Θερμοκρασία Περιβάλλοντος



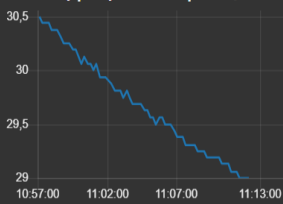
Φωτεινότητα



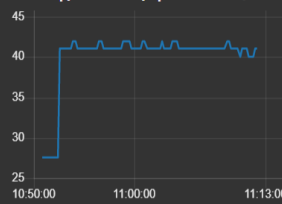
Υγρασία Χώματος



Θερμοκρασία Χώματος



Υγρασία Περιβάλλοντος



Αλεξάνδρα Σαρκίρη

Εικόνα 74- Περιβάλλον Χρήστη Γλοπιοιμένου Συστήματος, Γραφήματα

Συμπεράσματα

Για την ορθή εκπόνηση της διπλωματικής κρίθηκε απαραίτητη η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πρακτικό μέρος εντάσσεται στη γεωργία ακριβείας επιλέχθηκε η τεχνική διαμόρφωσης LoRa και το πρωτόκολλο LoRaWAN καθώς η τεχνολογία αυτή παρέχει εμβέλεια έως και 20 χιλιόμετρα στην ύπαιθρο και μικρή κατανάλωση ενέργειας σε βαθμό που οι μπαταρίες των συστημάτων μπορούν να διαρκέσουν έως και 10 χρόνια.

Επιπλέον, προσφέρει ασφάλεια καθώς όλα τα δεδομένα αποστέλλονται κρυπτογραφημένα από τους κόμβους στις πύλες και από εκεί στο application network server ενώ ταυτόχρονα δίδεται ακριβής γεωγραφική θέση χωρίς να χρειάζεται η ενσωμάτωση GPS η οποία θα είχε αποτύπωμα στην διαχείριση της ενέργειας. Επίσης, το κόστος για την κατασκευή IoT έργων είναι πολύ χαμηλό καθώς πρόκειται για ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα και δεν απαιτεί την ύπαρξη και διαμεσολάβηση του δικτύου κυψελών της κινητής τηλεφωνίας σε αντίθεση με τη τεχνολογία NB-IOT για παράδειγμα.

Η διεκπεραίωση του πρώτου έργου αποτέλεσε μία πρώτη γνωριμία με τη τεχνολογία LoRa σε point to point communication, βιβλιοθήκες κλιμακούμενης δυσκολίας και την χρήση cloud service Adafruit io το οποίο είναι εργαλείο για την δημιουργία διεπαφής με τον χρήστη με περιορισμούς ως προς τον αριθμό των αιτημάτων αλλά και τη χρήση συγκεκριμένων μικροελεγκτών. Το δεύτερο έργο αποτέλεσε μια πιο ερευνητική προσπάθεια καθώς χρησιμοποιήθηκε το πρωτόκολλο LoRaWAN, μικροϋπολογιστή, application network server, azure και node red γεγονός που αύξησε με μεγάλο βαθμό τη δυσκολία και τη πολυπλοκότητα ανοίγοντας όμως ένα μεγάλο παράθυρο για μελλοντική ενασχόληση με την έρευνα. Με τη λήψη δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και τις γραμμικές εξισώσεις μπορεί να υπολογιστεί το χρονικό διάστημα ανάπτυξης φυτού και το ποσοστό ανάπτυξης φυλλώματος του και να αποτυπωθεί σε dashboard, Excel, Matlab και άλλα.

Μελλοντικά το δεύτερο σύστημα μπορεί να εξελιχθεί με την εύρεση μαθηματικών μοντέλων για φυτά, την ένταξη βιομηχανικών αισθητήρων για καλύτερη λήψη μετρήσεων, συστήματα αυτόματου ποτίσματος, συνέχιση της πλατφόρμας Microsoft Azure με. Επιπλέον, στο node red user interface μπορούν να ενταχθεί button το οποίο να ελέγχει το ρελέ του αυτόματου ποτίσματος αλλά και bot το οποίο με email θα μπορεί να ενημερώνει τον χρήστη για κάποια ακραία υψηλή τιμή από κάποιον αισθητήρα ή την ολοκλήρωση ποτίσματος ενός χωραφιού.

Βιβλιογραφία

- [1] IoT Agenda. 2022. *What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work? - Definition from TechTarget.com*. [online] Available at: <<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>> [Accessed 7 March 2022].
- [2] Rahmani, A., 2021. *Internet of Things Applications: Oportunitites and Threats*. [ebook] Available at: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11277-021-08907-0.pdf>> [Accessed 8 March 2022].
- [3] Splunk. 2022. *What is the Internet of Medical Things (IoMT)? | Splunk*. [online] Available at: <https://www.splunk.com/en_us/data-insider/what-is-the-internet-of-medical-things-iomt.html> [Accessed 9 March 2022].
- [4] Proagrica. 2022. *What is Agriculture 4.0? - Proagrica*. [online] Available at: <<https://proagrica.com/news/what-is-agriculture-4-0/>> [Accessed 10 March 2022].
- [5] Priya, V., 2021. *Impact of Internet of Things (IoT) in Smart Agriculture*. [ebook] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/356755107_Impact_of_Internet_of_Things_IoT_in_Smart_Agriculture> [Accessed 11 March 2022].
- [6] Casto, D., 2022. *Precision Farming vs. Digital Farming vs. Smart Farming : What's The Difference?*. [online] DTN. Available at: <<https://www.dtn.com/precision-farming-vs-digital-farming-vs-smart-farming-whats-the-difference/>> [Accessed 15 March 2022].
- [7] Springer. 2022. *Precision Agriculture*. [online] Available at: <<https://www.springer.com/journal/11119/updates/17240272>> [Accessed 15 March 2022].
- [8] Custom Software Development Insights | Zibtek Blog. 2022. *IOT Architecture: 3 Layers, 4 Stages Explained*. [online] Available at: <<https://www.zibtek.com/blog/iot-architecture/>> [Accessed 19 March 2022].
- [9] Olakanmi, O., Pamela, A. and Ashraf, A., 2022. *A Review on Secure Routing Protocols for Wireless Sensor Networks*. [online] <http://www.eurekaselect.com>. Available at: <<http://www.eurekaselect.com/article/85597>> [Accessed 22 March 2022].
- [10] Edis.ifas.ufl.edu. 2022. *What Is a Wireless Sensor Network?*. [online] Available at: <<https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AE521>> [Accessed 21 March 2022].
- [11] Senior, C., 2022. *What is LPWAN | A Deep Dive into Low-Power Wide Area Networks*. [online] BehrTech. Available at: <<https://behrtech.com/blog/what-is-lpwan-a-deep-dive-into-low-power-wide-area-networks/>> [Accessed 1 April 2022].
- [12] Peladarinos, N., 2021. *Early Warning Systems for COVID-19 Infections Based on Low-Cost Indoor Air-Quality Sensors and LPWANs*. [ebook] Available at: <<https://www.mdpi.com/1424-8220/21/18/6183/hfm>> [Accessed 12 April 2022].
- [13] Build.sigfox.com. 2022. *What is Sigfox 0G technology? | Sigfox build*. [online] Available at: <<https://build.sigfox.com/sigfox>> [Accessed 14 April 2022].

- [14] Ray, B., 2022. *What is Narrowband IoT (NB-IoT)? - Explanation and 5 Business Benefits*. [online] IoT For All. Available at: <<https://www.iotforall.com/what-is-narrowband-iot>> [Accessed 16 April 2022].
- [15] Blackman, J., 2022. *Three NB-IoT deployment models – and why NB-IoT performance is not what it should be*. [online] Enterprise IoT Insights. Available at: <<https://enterpriseiotinsights.com/20190718/channels/fundamentals/three-nb-iot-deployment-models>> [Accessed 16 April 2022].
- [16] Shepard, J., 2022. *Mioty LPWAN – what's it good for?*. [online] Microcontrollertips.com. Available at: <<https://www.microcontrollertips.com/mioty-lpwan-whats-it-good-for-faq/>> [Accessed 21 April 2022].
- [17] Lora-developers.semtech.com. 2022. *LoRa and LoRaWAN: Technical overview | DEVELOPER PORTAL*. [online] Available at: <<https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>> [Accessed 21 April 2022].
- [18] Actility. 2022. *What is LoRa and LoRaWAN ? – Actility*. [online] Available at: <<https://www.actility.com/what-is-lora-and-lorawan/>> [Accessed 21 April 2022].
- [19] Ray, B., 2022. *What Is Weightless? | Blog | Link Labs*. [online] Link-labs.com. Available at: <<https://www.link-labs.com/blog/what-is-weightless>> [Accessed 27 April 2022].
- [20] Digi.com. 2022. *What Is Zigbee Protocol Wireless Mesh Networking?*. [online] Available at: <<https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>> [Accessed 30 April 2022].
- [21] Doge, S., 2017. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/344570581_International_Journal_of_Research_Study_of_Wi-Fi_Signal_Strength_Measurement_and_its_Optimization> [Accessed 30 April 2022].
- [22] Commons.wikimedia.org. 2022. *File:WiFi Logo.svg - Wikimedia Commons*. [online] Available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WiFi_Logo.svg> [Accessed 31 April 2022].
- [23] American, S., 2022. *How does Bluetooth work?*. [online] Scientific American. Available at: <<https://www.scientificamerican.com/article/experts-how-does-bluetooth-work/>> [Accessed 1 May 2022].
- [24] 5G, e., 2022. *5G, explained | MIT Sloan*. [online] MIT Sloan. Available at: <<https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/5g-explained>> [Accessed 6 May 2022].
- [25] Sanislav, T., 2012. *Cyber-physical systems - Concept, challenges and research areas*. [ebook] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/289701937_Cyber-physical_systems_-_Concept_challenges_and_research_areas> [Accessed 12 May 2022].
- [26] Cleantech.com. 2022. *Data Security and Cleantech – The Future of Cyber-Physical Systems | Cleantech Group*. [online] Available at: <<https://www.cleantech.com/data-security-and-cleantech-the-future-of-cyber-physical-systems/>> [Accessed 15 May 2022].
- [27] Ibm.com. 2022. *What is a digital twin? | IBM*. [online] Available at: <<https://www.ibm.com/topics/what-is-a-digital-twin>> [Accessed 17 May 2022].
- [28] Deloitte China. 2022. *Industry 4.0 and the digital twin | Deloitte China | Consumer & Industrial Products*. [online] Available at:

- <<https://www2.deloitte.com/cn/en/pages/consumer-industrial-products/articles/industry-4-0-and-the-digital-twin.html>> [Accessed 18 May 2022].
- [29] Skobelev, 2020. *Development of models and methods for creating a digital twin of plant within the cyber-physical system for precision farming management*. [ebook] Available at: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1703/1/012022/meta>> [Accessed 20 May 2022].
- [30] Gunasekara, C., 2018. *Growth responses of Lantana (Lantana camara L.) varieties to varying water availability and light conditions*. [ebook] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/324086487_Growth_responses_of_Lantana_Lantana_camara_L_varieties_to_varying_water_availability_and_light_conditions> [Accessed 22 May 2022].
- [31] Arduino Official Store. 2022. *Arduino Uno Rev3*. [online] Available at: <<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>> [Accessed 28 May 2022].
- [32] 2022. [ebook] Available at: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf> [Accessed 1 June 2022].
- [33] Microcontrollerslab.com. 2022. [online] Available at: <<https://microcontrollerslab.com/ttgo-lora32-sx1276-oled-board-pinout-getting-started-with-arduino-ide/>> [Accessed 1 June 2022].
- [34] Dragino.com. 2022. *Arduino Shield featuring LoRa® technology*. [online] Available at: <<https://www.dragino.com/products/lora/item/102-lora-shield.html>> [Accessed 12 June 2022].
- [35] 2022. [ebook] Available at: <https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/DHT11_Aosong.pdf> [Accessed 12 June 2022].
- [36] 2022. [ebook] Available at: <<https://datasheetspdf.com/pdf-file/756864/CdS/GL5537-1/1>> [Accessed 14 June 2022].
- [37] 2022. [online] Available at: <<https://artofcircuits.com/product/fc-28-soil-moisture-sensor-analog-and-digital-outputs>> [Accessed 15 June 2022].
- [38] Mechatroffice. 2022. *Automatic Watering System using FC-28 Moisture Sensor with arduino*. [online] Available at: <<https://mechatroffice.com/arduino/automatic-irrigation-system>> [Accessed 16 July 2022].
- [39] 2022. [ebook] Available at: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>> [Accessed 20 June 2022].
- [40] 2022. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/figure/LoRa-Spreading-Factor-SF-Bitrates-and-Time-on-Air-LoRa-is-chosen-as-the-wireless_fig7_324043563> [Accessed 29 June 2022].
- [41] Kashyap, M., 2018. *Taking MQTT and NodeMcu to IOT: Communication in Internet of Things*. [ebook] Available at: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918308585?via%3Dihub>> [Accessed 30 June 2022].
- [42] Io.adafruit.com. 2022. *Adafruit IO*. [online] Available at: <<https://io.adafruit.com/>> [Accessed 30 June 2022].

[43] 2022. *Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module*. [ebook] Available at: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/50002346c.pdf>> [Accessed 1 July 2022].

[44] 2022. *Raspberry Pi 3 Model B+*. [ebook] Available at: <<https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf>> [Accessed 2 July 2022].

[45] 2022. [ebook] Available at: <https://lora-alliance.org/wp-content/uploads/2019/09/iC880A_Datasheet_V1_1.pdf> [Accessed 19 July 2022].

[46] 2022. [ebook] Available at: <<https://www.meanwell-web.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/Rs-25/RS-25-spec.pdf>> [Accessed 20 July 2022].

[47] Chirpstack.io. 2022. *ChirpStack open-source LoRaWAN Network Server*. [online] Available at: <<https://www.chirpstack.io/>> [Accessed 21 April 2022].

[48] Nodered.org. 2022. *Node-RED*. [online] Available at: <<https://nodered.org/>> [Accessed 25 July 2022].