



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας - υγρασίας αέρα και υγρασίας εδάφους βασισμένη στην τεχνολογία LoRa

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΝΔΡΕΑ Ι. ΖΕΡΚΟΥΛΗ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

Διάταξη μέτρησης θερμοκρασίας - υγρασίας αέρα και υγρασίας εδάφους βασισμένη στην τεχνολογία LoRa

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΟΥ

ΑΝΔΡΕΑ Ι. ΖΕΡΚΟΥΛΗ

Επιβλέπων: Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την **27 / 10 / 2020**

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Μαρία Παρασκευή Ιωαννίδου
Ομότιμη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Ομότιμος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2020

.....

ΑΝΔΡΕΑΣ Ι. ΖΕΡΚΟΥΛΗΣ

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Ζερκούλης Ανδρέας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved. Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Το νερό είναι αδιάψευστα ο πιο σημαντικός φυσικός πόρος στον πλανήτη και δυστυχώς δεν είναι ανεξάντλητος. Παρόλα αυτά, ένα τεράστιο ποσοστό του νερού που καταναλώνεται, απορροφάται για την άρδευση καλλιεργειών. Η διάταξη που υλοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική, αποσκοπεί στη συλλογή δεδομένων από το αγροτεμάχιο και προβολή τους σε μία ασύρματη συσκευή. Το κεφάλαιο της Εισαγωγής περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν το σύνολο των θεμάτων που σχετίζονται με το θεωρητικό υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας, όπως ο τομέας των Μετρήσεων και της Μετρολογίας, οι Ηλεκτρικές μετρήσεις, η τεχνολογία των Μικροεπεξεργαστών και των Μικροελεγκτών, το σύστημα Arduino, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών που αποτελούν την διάταξη μετρήσεων. Στο κεφάλαιο του Πειραματικού Μέρους, αναλύονται τόσο οι διατάξεις που θα χρησιμοποιηθούν, όσο και ο τρόπος κατασκευής τους και οι λόγοι για τους οποίους έγινε ο συγκεκριμένος συνδυασμός υλικών. Τόσο η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή, όσο και εκείνη που χρησιμοποιήθηκε για την προβολή των δεδομένων, αναλύονται σε μεγάλο βαθμό ως προς την κατασκευή, την εγκατάσταση και τη χρήση τους. Στόχος της κατασκευής του συστήματος αυτού, είναι να καθιστά διαθέσιμα στον αγρότη καίρια δεδομένα για την καλλιέργεια, έτσι ώστε να ληφθούν καλύτερες και πιο αποδοτικές αποφάσεις ως προς την άρδευση. Το αποτέλεσμα θα είναι η εξοικονόμηση του νερού που δαπανάται, τόσο σε μία καλλιέργεια όσο και σε μία εγκατάσταση αστικού πρασίνου γενικότερα για την εργασία αυτή.

Λέξεις κλειδιά

Διάταξη Μετρήσεων, καταγραφικό, Υγρασία, Θερμοκρασία, Υγρασία Εδάφους, Διαδίκτυο των πραγμάτων, Arduino, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Αισθητήρες, Απομακρυσμένος έλεγχος, LoRa

Abstract

Water is undoubtedly the most important natural resource on the planet. Unfortunately it is not inexhaustible. However, a huge percentage of the water consumed is absorbed for crop irrigation. The experimental configuration implemented in this thesis, aims to collect data from the field and display it on a wireless device. The Introduction chapter contains all the necessary information concerning all the topics related to the theoretical background of the dissertation, such as the field of Measurements and Metrology, Electrical Measurements, the technology of Microprocessors and Microcontrollers, the Arduino system, the technical characteristics of the devices that make up the measurements configuration. In the chapter of the Experimental Part, the configurations that will be used are analyzed, as well as the way of their construction and the reasons for which the specific combination of materials are made. Both the configurations used for the collection and the used to display the data are extensively analyzed in terms of their construction, installation and use. The purpose of creating this system is to make available to the farmer key data for cultivation, in order better and more efficient irrigation decisions to be made. The result will be to minimize the volume of water used in excess right now, both in crops and urban green places (parks, gardens etc.).

Keywords

configurations, humidity, temperature, soil humidity, Internet of Things, Arduino, Electrical measurements, sensors, remote control, LoRa

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	11
1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT)	12
1.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	14
1.1.1 SigFox	14
1.1.2 NarrowBand - IoT (NB - IoT)	16
1.1.3 Long Range (LoRa)	17
1.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων στη διαχείριση του νερού	19
1.2.1 Έξυπνες πόλεις και αγροί	19
2. Μικροεπεξεργαστές (Microprocessors)	20
2.1 Μικροελεγκτές (Microcontrollers)	22
2.1.1 Διαφορές με μικροεπεξεργαστές	23
2.1.2 Είσοδος-Έξοδος (I/O)	24
2.1.3 Μνήμη	24
2.2 Arduino	25
2.2.1 Περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) Arduino	26
2.2.2 Γλώσσα προγραμματισμού	26
2.2.3 Ολοκληρωμένες πλακέτες επέκτασης (Shields)	27
2.3 Adafruit Feather	27
2.3.1 Adafruit Feather Lora	28
2.3.2 Adafruit Feather HUZZAH ESP8266	30
3. Μετρήσεις	30
3.1 Εισαγωγή	30
3.2 Μετρολογία	31
3.3 Συστήματα μονάδων	31
3.4 Πρότυπα Μετρήσεων	33
3.5 Σφάλματα	33
3.5.1 Απόλυτα Σφάλματα	34
3.5.2 Συστηματικά Σφάλματα	34
3.5.3 Τυχαία Σφάλματα	35
3.6 Συστήματα Μετρήσεων	35
3.6.1 Εισαγωγή	36
3.6.2 Συνδεσμολογία Οργάνου Απόκλισης	36
3.6.3 Ευαισθησία Οργάνων	36
3.6.4 Αμπερόμετρο	37
3.6.4 Βολτόμετρο	38
4. Οθόνες	39
4.1 Εισαγωγή	39
4.2 LCD (Liquid Crystal Display - Οθόνη Υγρών Κρυστάλλων)	39
4.3 LED (Light Emitting Diode)	40

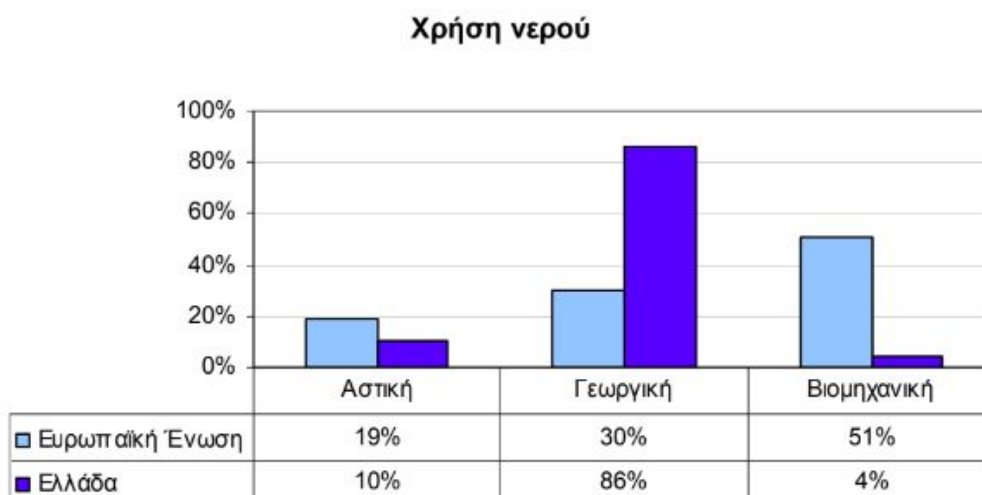
4.4 OLED (Organic Light Emitting Diode)	41
5. Αισθητήρες	42
5.1 Θερμοκρασίας & Υγρασίας Αέρα	42
Υγρασία	42
Θερμοκρασία	43
5.1.1 DHT 11	44
5.1.2 DHT 22	45
5.1.3 Adafruit Si7021	46
5.2 Υγρασίας Εδάφους	47
5.2.1 Ωμικά Υγρασιόμετρα	48
5.2.2 Χωρικά Υγρασιόμετρα	49
6. Συσσωρευτές Λιθίου	50
6.1 Εισαγωγή	50
6.2 Φυσικές Ιδιότητες - Χημική Διαδικασία	51
6.3 Υλικά Καθόδου	51
6.4 Ηλεκτρολύτες	51
6.5 Είδη Συσσωρευτών Λιθίου	52
6.5.1 Διαλυτές	52
6.5.2 Μη Διαλυτές	54
6.6 Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου(Li-On)	57
6.6.1 Εισαγωγή	57
6.6.2 Χαρακτηριστικά Μπαταριών Ιόντων Λιθίου	57
6.6.3 Χημική Διαδικασία	59
6.7 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου Πολυμερών	60
6.7.1 Πυκνότητα Ενέργειας των Μπαταριών LiPO	60
6.7.2 Χαρακτηριστικά Φόρτισης Μπαταριών LiPO	61
6.7.3 Δυνατότητες Μπαταριών LiPO ανάλογα με το Ρεύμα Αποφόρτισης	61
7. IP Κλίμακα	63
7.1 Εισαγωγή	63
7.2 Βαθμός Στεγανότητας IP	63
Πειραματική Διάταξη	65
1. Σκοπός	65
2. Διάταξη	66
2.1 Συσκευή Καταγραφής	67
Αισθητήρες:	67
Μικροελεγκτής (Microcontroller):	68
Πηγή Ενέργειας:	68
Κουτί Κατασκευής & Στήριξη	69
Συνδεσμολογία	70
2.2 Συσκευή Ανάγνωσης	70
Μικροελεγκτές (Microcontrollers):	71
Εμφάνιση Αποτελεσμάτων	71

Πηγή Ενέργειας:	72
Κουτί Κατασκευής	72
Συνδεσμολογία και χειρισμός	73
3. Κώδικας (Προγραμματισμός)	73
3.1 Συσσκευή Καταγραφής	73
3.2 Συσσκευή Ανάγνωσης	76
Feather LoRa	76
Feather HUZZAH	79
4. Εφαρμογή Διάταξης	81
4.1 Συσσκευή Καταγραφής	81
4.1.1 Εγκατάσταση	82
4.1.2 Ενεργοποίηση	82
4.2 Συσσκευή Ανάγνωσης	83
5. Συμπεράσματα και Βελτιώσεις	85
Βιβλιογραφία	86

Εισαγωγή

Το νερό είναι αδιάψευστα ο πιο σημαντικός φυσικός πόρος στον πλανήτη και δυστυχώς δεν είναι ανεξάντλητος. Τόσο σε εθνικό όσο και σε κοινοτικό επίπεδο, γίνεται μεγάλη προσπάθεια να ρυθμιστεί νομοθετικά η ορθολογική χρήση του, πράγμα που δεν είναι πολύ εύκολο.

Η Ελλάδα είναι χώρα με ελλιπείς υδάτινους πόρους. Παρόλα αυτά, ένα τεράστιο ποσοστό του νερού που καταναλώνεται, απορροφάται κυρίως στην άρδευση και στην αστική ζωή (εικόνα 1.1). Είναι, λοιπόν, επιτακτική ανάγκη να μειωθεί η κατανάλωση νερού, πολλώ δε μάλλον, όταν το επιβάλλει και η πολιτική εξοικονόμησης νερού της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Εικόνα 1.1 Ποσοστά Κατανάλωσης Νερού ανά Τομέα [1]

Το τεράστιο αυτό ποσοστό νερού που χρησιμοποιείται μπορεί να ελεγχθεί και να περιοριστεί με την ακριβή παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών και την μελέτη της κίνησης του νερού από την επιφάνεια του εδάφους προς το εσωτερικό της γης. Έτσι, για παράδειγμα, η ποσότητα νερού που παρέχεται σε μία καλλιέργεια γίνεται με οπτική εκτίμηση του αγρότη και τις αναλογίες που έμαθε από τις προηγούμενες γενιές αγροτών. Επίσης, ακόμα και σε γενικές εγκαταστάσεις πρασίνου (πάρκα,

γήπεδα, κήποι κλπ) η νοοτροπία δε διαφέρει πολύ από των αγροτών, διότι οι το κόστος εκσυγχρονισμού των εγκατεστημένων Είναι κατανοητό, λοιπόν ότι αυτό το μοντέλο που ακολουθείται έχει πολύ κακή απόδοση και το μεγαλύτερο ποσοστό του νερού πάει χαμένο.

Αυτή η μείωση μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό με τη βοήθεια της τεχνολογίας. Με τη χρήση μιας μετρητικής διάταξης με αισθητήρες που ελέγχουν τις παραμέτρους (υγρασία εδάφους, θερμοκρασία και υγρασία αέρα) που επηρεάζουν την ποσότητα νερού που πρέπει να γίνεται διαθέσιμη στο έδαφος για κάθε περίπτωση.

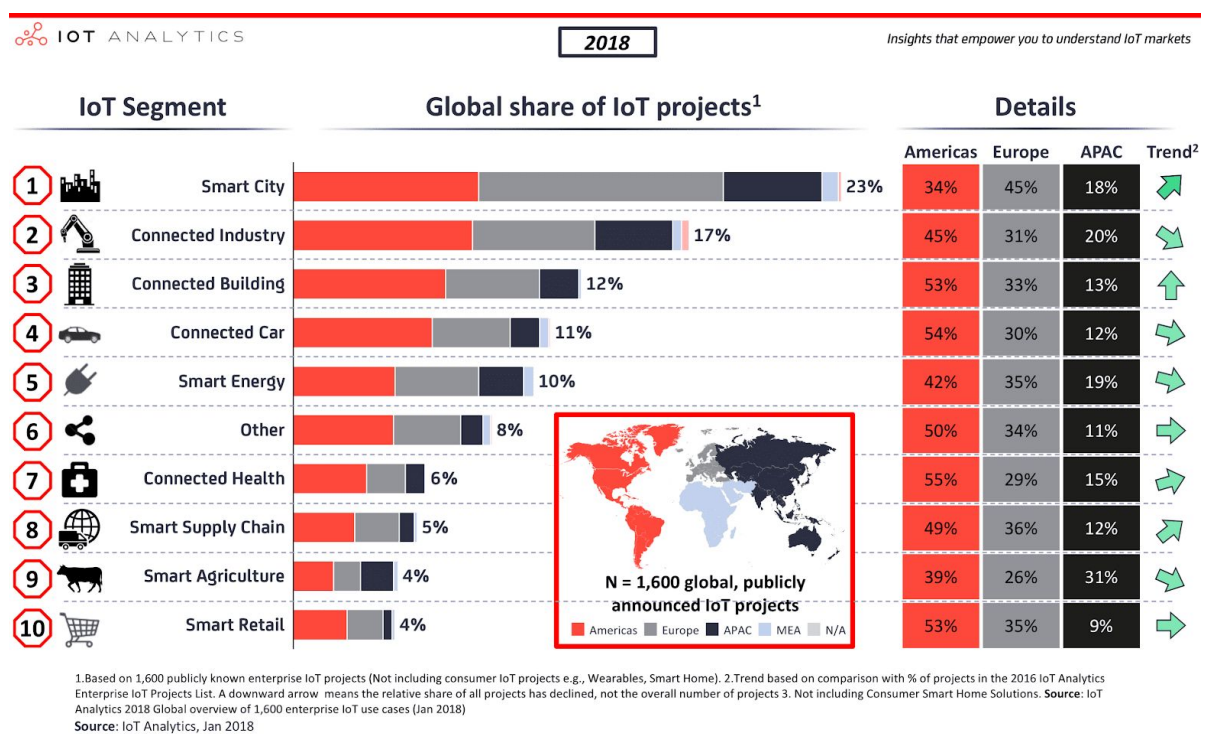
1. Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT)

Με τον όρο διαδίκτυο των πραγμάτων, περιγράφεται ένα παγκόσμιο δίκτυο στο οποίο παρέχεται η δυνατότητα να συνδέονται συσκευές (συνήθως μετρητικές διατάξεις) που επικοινωνούν μεταξύ τους, ανταλλάσσουν πληροφορίες, συλλέγουν δεδομένα, ακόμα και λαμβάνουν αποφάσεις μέσω αλγορίθμων. Όλα τα παραπάνω, πραγματοποιούνται μέσω του διαδικτύου. Η ανάπτυξη του δικτύου αυτού, είναι αρκετά νέα, παρόλα αυτά η ανάπτυξή του είναι ραγδαία τα τελευταία χρόνια, λόγω κυρίως του ότι στην εποχή της πληροφορίας, είναι αναγκαία η συνεχής συλλογή δεδομένων και ο απομακρυσμένος έλεγχος διαδικασιών και διεργασιών. Ένας άλλος λόγος ανάπτυξης του IoT, είναι η ραγδαία πτώση τιμών στην αγορά των ηλεκτρονικών, και πλέον είναι όλο και ευκολότερη η πρόσβαση σε αυτές τις τεχνολογίες ακόμα και από το μέσο πολίτη [2].

Συστήματα IoT, αναπτύσσονται συνεχώς και ραγδαία σε πάρα πολλούς τομείς επαγγελματών και έχουν μπει για τα καλά στις ζωές των ανθρώπων. Το μερίδιο αγοράς και η ανάπτυξη του κλάδου αυξάνονται εκθετικά χρόνο με το χρόνο. Στο σύγχρονο τρόπο ζωής, κρίνεται αρκετά σημαντική η συλλογή δεδομένων για οτιδήποτε επηρεάζει τη ζωή κάθε ανθρώπου, να συνδυάζεται με άλλα δεδομένα από διαφορετικά δίκτυα ή ιστορικά δεδομένα του ίδιου και να παράγονται πρακτικά συμπεράσματα για κάθε κλάδο [3]. Συγκεκριμένα, το IoT, έχει εδραιωθεί σε πολλούς

πολλούς τομείς, με κύριους τους τομείς (όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα 1.2) :

- της Βιομηχανίας
- των Έξυπνων Πόλεων
- της Ενέργειας
- των Μεταφορών
- τον Αγροτικό



Εικόνα 1.2 Ποσοστά Τομέων Χρήσης Δικτύου των Πραγμάτων [4]

1.1 Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Αναπόσπαστο μέρος του Διαδικτύου των Πραγμάτων, είναι τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network ή WSN). Τα δίκτυα αυτά αποτελούνται από κόμβους οι οποίοι περιλαμβάνουν έναν ή και παραπάνω αισθητήρες. Έτσι, αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται στην ασύρματη επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων μεταξύ τους.

1.1.1 SigFox



Εικόνα 1.3 Λογότυπο Sigfox

Το Sigfox είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο έχει αναπτυχθεί από την Γαλλική εταιρεία Sigfox. Η ανάπτυξή του βασίστηκε στη ανάγκη της εταιρείας να κατασκευάσει ένα ασύρματο δίκτυο διασύνδεσης συσκευών χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης που στέλνουν δεδομένα μικρού όγκου. Οι κατοχυρωμένες συχνότητες του κλειστού αυτού πρωτοκόλλου είναι τα 868 MHz στην Ευρώπη και 902 MHz στις ΗΠΑ.

Τα χαρακτηριστικά του πρωτοκόλλου είναι η χρήση διαμόρφωσης ultra narrow band και ο χαμηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Αυτά τα χαρακτηριστικά, συντελούν στη χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση καθώς και στην ραγδαία αύξηση της εμβέλειας του συστήματος. Έτσι, ταξινομείται ως Low-power Wide-area network (LPWAN), δηλαδή Χαμηλής - Ενέργειας Διευρυμένης - Περιοχής Δίκτυο.

Τέλος, η τεχνολογία αυτού του τύπου δικτύων, επιτρέπει τη διασύνδεση υπόγειων αισθητήρων (π.χ δίκτυα σε φρεάτια), διότι έχει την ιδιότητα να διαπερνά με ευκολία ογκώδη αντικείμενα [5].

1.1.2 NarrowBand - IoT (NB - IoT)



Εικόνα 1.4 Λογότυπο Sigfox

Το NB - IoT είναι ένα κλειστό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο επίσης κατατάσσεται στα Χαμηλής - Ενέργειας Διευρυμένης - Περιοχής Δίκτυα (LPWAN). Το πρότυπο αυτό είναι ακόμα σε πιλοτικό στάδιο, καθώς είναι πολύ νέα τεχνολογία που σχεδιάστηκε από την 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και αναπτύσσεται ακόμα συνεχώς.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι η διευρυμένη διάρκεια μπαταρίας, η δυνατότητα να συνδέεται στο δίκτυο μεγάλος αριθμός κόμβων και το χαμηλό σχετικά κόστος, συγκριτικά με εναλλακτικές λύσεις. Βασίζεται στη διαμόρφωση DSSS και χρησιμοποιεί το ίδιο φάσμα συχνοτήτων με το LTE (Long Term Evolution), πράγμα που σημαίνει ότι οποιαδήποτε υλοποίηση πρέπει να φέρει την ανάλογη άδεια και πρακτικά για αυτό το λόγο το συγκεκριμένο πρότυπο είναι κλειστό και αρκετά ασφαλές [6]. Ωστόσο, για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών του και της απόδοσής του, ο ρυθμός μετάδοσης είναι σημαντικά χαμηλότερος από το συμβατικό δίκτυο LTE (εικόνα 1.5).

V T T E [10][11]	LTE Cat 1	LTE-M				NB-IoT		EC-GSM-IoT
		LC-LTE/MTCe	eMTC					
		LTE Cat 0	LTE Cat M1	LTE Cat M2	non-BL	LTE Cat NB1	LTE Cat NB2	
3GPP Release	Release 8	Release 12	Release 13	Release 14	Release 14	Release 13	Release 14	Release 13
Downlink Peak Rate	10 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s			250 kbit/s		474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
Uplink Peak Rate	5 Mbit/s	1 Mbit/s	1 Mbit/s			250 kbit/s (multi-tone) 20 kbit/s (single-tone)		474 kbit/s (EDGE) 2 Mbit/s (EGPRS2B)
Latency	50–100ms	not deployed	10ms–15ms			1.6s–10s		700ms–2s
Number of Antennas	2	1	1			1		1–2
Duplex Mode	Full Duplex	Full or Half Duplex	Full or Half Duplex			Half Duplex		Half Duplex
Device Receive Bandwidth	1.4 – 20 MHz	1.4 – 20 MHz	1.4 MHz			180 kHz		200 kHz
Receiver Chains	2 (MIMO)	1 (SISO)	1 (SISO)			1 (SISO)		1–2
Device Transmit Power	23 dBm	23 dBm	20 / 23 dBm			20 / 23 dBm		23 / 33 dBm

Εικόνα 1.5 Απαιτήσεις NB - IoT [7]

1.1.3 Long Range (LoRa)



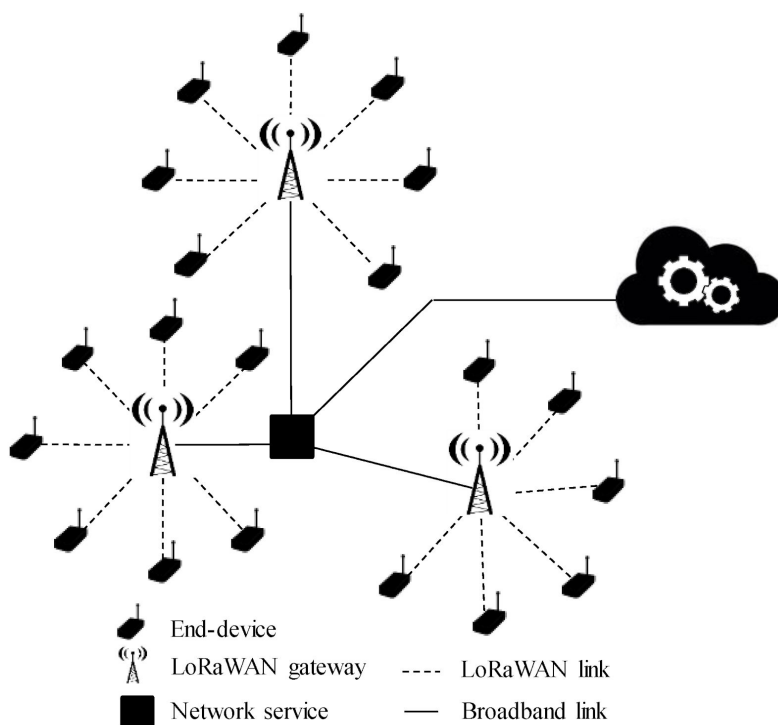
Εικόνα 1.6 Λογότυπο LoRa

Το LoRa είναι μία τεχνολογία ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, πατενταρισμένη, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά στη Γαλλία και στη συνέχεια αποκτήθηκε από μια εταιρεία που έχει έδρα τις Η.Π.Α. Η τεχνολογία αυτή επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων σε πολύ μεγάλη απόσταση (ακόμα και 22 χιλιόμετρα σε ευθεία γραμμή) με πολύ μικρή ενεργειακή κατανάλωση. Οι ραδιο-συχνότητες που χρησιμοποιεί είναι : 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (στην Ευρώπη) και 915 MHz (στη Βόρεια Αμερική).

Οι τεχνική που είναι βασισμένο, ονομάζεται ημιτονοειδές σήμα (chirp) εκτεταμένου φάσματος (Chirp Spread Spectrum-CSS) και χρησιμοποιεί ένα ημιτονοειδές σήμα (chirp) με συχνότητα που μεταβάλλεται με το χρόνο [8]. Στην έξοδο της ανάλυσης FFT, ο χρόνος μεταφράζεται σε μετατόπιση συχνότητας. Επομένως, το σύστημα γνωρίζοντας την αρχική συχνότητα chirp και τη μετατόπιση της συχνότητας, αποδιαμορφώνει το σήμα.

Οι συχνότητες chirp ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται σε στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές λόγω της αντοχής σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και της μεγάλης εμβέλειας, ενώ το LoRa είναι η πρώτη χαμηλού κόστους εφαρμογή, ευρείας κατανάλωσης [9].

Τέλος, το LoRaWAN είναι το πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών και αισθητήρων τεχνολογίας LoRa, καθώς και με πύλες (gateways) που διοχετεύουν τα δεδομένα στο διαδίκτυο.



Εικόνα 1.7 Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRaWAN [10]

1.2 Διαδίκτυο των πραγμάτων στη διαχείριση του νερού

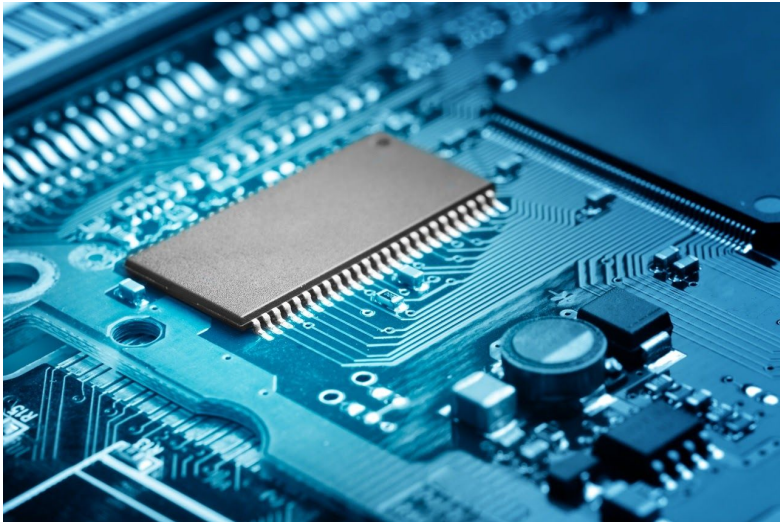
Η χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων στο πλαίσιο της παρατήρησης και καταγραφής των καιρικών συνθηκών γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη. Η χρήση ενός ασύρματου δικτύου απελευθερώνει από την απαίτηση ύπαρξης καλωδίωσης σε ένα δύσκολο περιβάλλον. Συστήματα νερού, τροφοδοσίας, βαρύτητας, μπορούν να παρακολουθούνται χρησιμοποιώντας πομπούς πίεσης για να παρακολουθούν τα επίπεδα δεξαμενή νερού, αντλίες μπορούν να ελέγχονται με τη χρήση ασύρματων συσκευών και η χρήση του νερού μπορεί να μετρηθεί και να μεταδίδεται ασύρματα σε ένα κεντρικό σημείο ελέγχου για τιμολόγηση [11].

1.2.1 Έξυπνες πόλεις και αγροί

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων επιτρέπουν στους χρήστες να κάνουν ακριβή παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών. Ως εκ τούτου, οι αρμόδιοι μπορούν να γνωρίζουν άμεσα την κατάσταση των μετρούμενων πεδίων, κάτι το οποίο θα διευκολύνει τη διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Μειώνονται, επομένως και οι υδάτινοι πόροι που δαπανώνται για το πότισμα εκτάσεων. Όσον αφορά τις έξυπνες πόλεις, μέσω των ασύρματων δικτύων μπορούν να αυτοματοποιηθούν και να παρακολουθούνται πολλές διαδικασίες (π.χ παρκάρισμα, φωρισμός κα). Μία από τις διαδικασίες αυτές είναι και η άρδευση των εγκαταστάσεων πρασίνου, η οποία παρουσιάζει τεράστιες απώλειες με το συμβατικό τρόπο που ακολουθείται. Έτσι, μπορεί να γίνει πολύ πιο ακριβής και με βάση τις συνθήκες να εξοικονομείται τεράστια ποσότητα νερού [12].

2. Μικροεπεξεργαστές (Microprocessors)



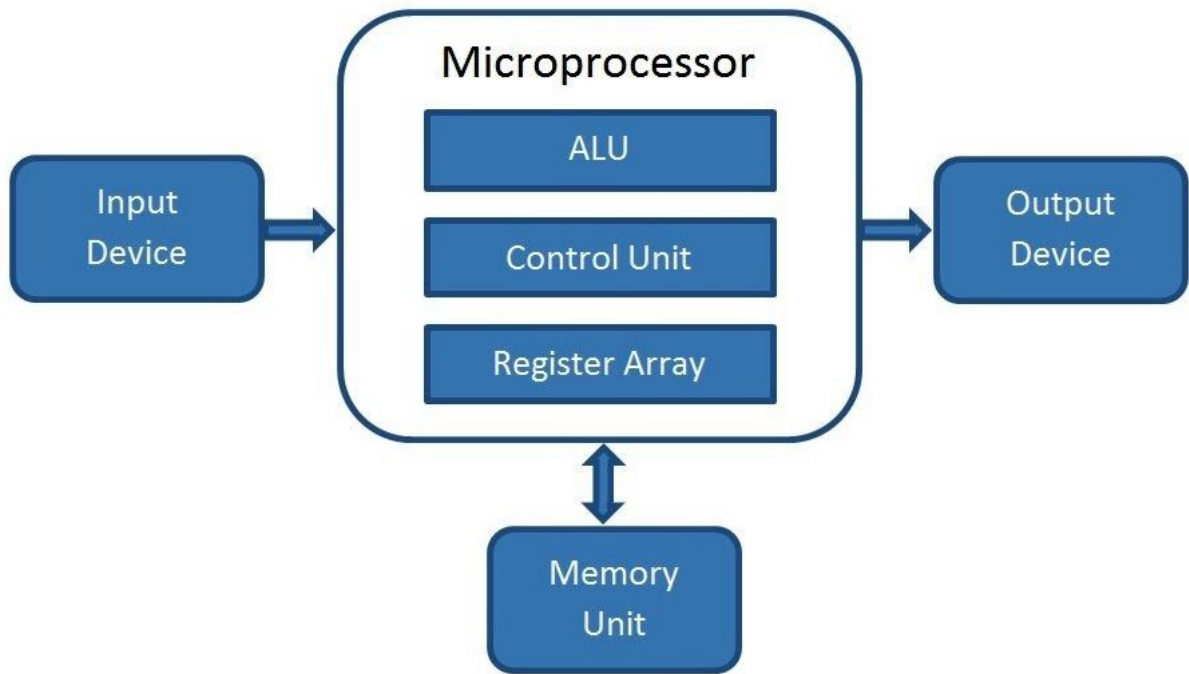
Εικόνα 2.1 Μικροεπεξεργαστής

Η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (Central Processing Unit ή CPU), είναι το ηλεκτρονικό εξάρτημα που αποτελεί το επίκεντρο της επεξεργασίας δεδομένων σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή. Εκτελεί βασικές λειτουργίες διασύνδεσης και μεταβίβασης εντολών και ελέγχει την ομαλή λειτουργία του Η/Υ. Αν η ΚΜΕ αποτελείται από ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα, τότε ονομάζεται μικροεπεξεργαστής (microprocessor).

Ο τρόπος κατασκευής των ΚΜΕ άλλαξε σημαντικά στην δεκαετία του 70, όταν κατασκευάστηκαν οι πρώτοι επεξεργαστές από ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα μεγάλης ολοκλήρωσης. Επειδή μειώθηκε το μέγεθος, οι επεξεργαστές νέου τύπου ονομάστηκαν μικροεπεξεργαστές. Το μικρότερο μέγεθος μείωσε επίσης και το χρόνο μεταγωγής λόγω των φυσικών παραγόντων. Έτσι, οι σύγχρονοι μικροεπεξεργαστές έχουν συχνότητα ρολογιού που κυμαίνεται από εκατοντάδες megahertz έως αρκετά gigahertz. Παράλληλα, αυξήθηκε η πολυπλοκότητα και ο αριθμός των τρανζίστορ που αποτελούσαν ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Ένας μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τα εξής μέρη (εικόνα 2.2) :

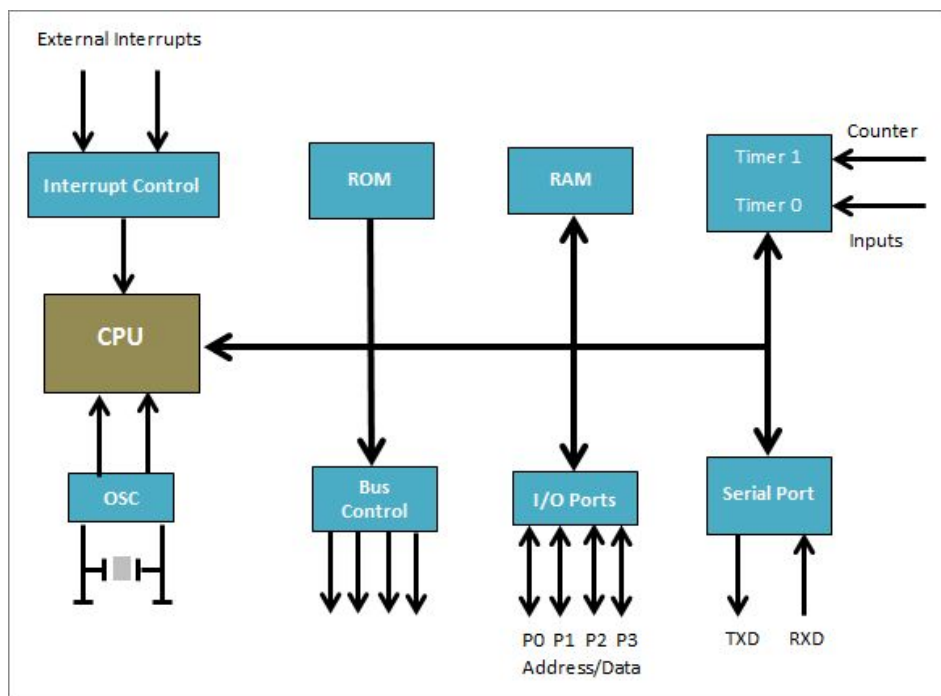
- Μονάδα αποκωδικοποίησης (Decoding Unit). Η μονάδα όπου τα προγράμματα μετατρέπονται σε γλώσσα Assembly.
- Αριθμητική και Λογική Μονάδα (Arithmetical and Logical Unit, ALU). Η μονάδα όπου εκτελούνται οι αριθμητικές και λογικές πράξεις που απαιτούνται με βάση τις εντολές του προγράμματος.
- Καταχωρητές (Registers) Μικρές μονάδες μνήμης που βρίσκονται στο εσωτερικό του επεξεργαστή, μικρής συνήθως χωρητικότητας και μεγάλης ταχύτητας προσπέλασης, που λειτουργούν επικουρικά στην εκτέλεση των εντολών αποθηκεύοντας προσωρινά τιμές απαραίτητες για την ομαλή διεξαγωγή του προγράμματος.
- Μονάδα Ελέγχου (Control Unit). Η μονάδα που ελέγχει τη ροή των δεδομένων από και προς την αριθμητική και λογική μονάδα, τη μνήμη, τους καταχωρητές και τις μονάδες εισόδου - εξόδου.
- Μονάδα Προσκόμισης (Fetch Unit). Η μονάδα που μεταφέρει τις εντολές από τη μνήμη στον επεξεργαστή.
- Μονάδα Προστασίας (Protection Unit)
Η μονάδα που εξασφαλίζει την αποφυγή πράξεων ή εντολών που δύνανται να προκαλέσουν βλάβη στην ομαλή διεξαγωγή του προγράμματος.



Εικόνα 2.2 Δομή Μικροεπεξεργαστή [13]

2.1 Μικροελεγκτές (Microcontrollers)

Οι μικροελεγκτές είναι μια ειδική κατηγορία μικροεπεξεργαστών. Είναι δηλαδή ολοκληρωμένα κυκλώματα με δυνατότητα εκτέλεσης στοιχειωδών αριθμητικών και λογικών πράξεων μεταξύ δυαδικών δεδομένων, καθώς και δυνατότητα πραγματοποίησης λειτουργιών εισόδου εξόδου δεδομένων. Ένας μικροεπεξεργαστής προγραμματίζεται καθορίζοντας την ακολουθία εντολών προς εκτέλεση. Κάθε μικροεπεξεργαστής έχει περιορισμένο σετ εντολών που μπορεί να εκτελέσει σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του (εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Δομή Μικροελεγκτή [13]

2.1.1 Διαφορές με μικροεπεξεργαστές

Για να είναι λειτουργικός ένας μικροεπεξεργαστής, πρέπει οπωσδήποτε να διαθέτει:

- μνήμη, από την οποία θα διαβάσει το πρόγραμμα που θα εκτελέσει και
- ταλαντωτή, ως η πηγή ρολογιού που είναι απαραίτητη σε κάθε σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα.

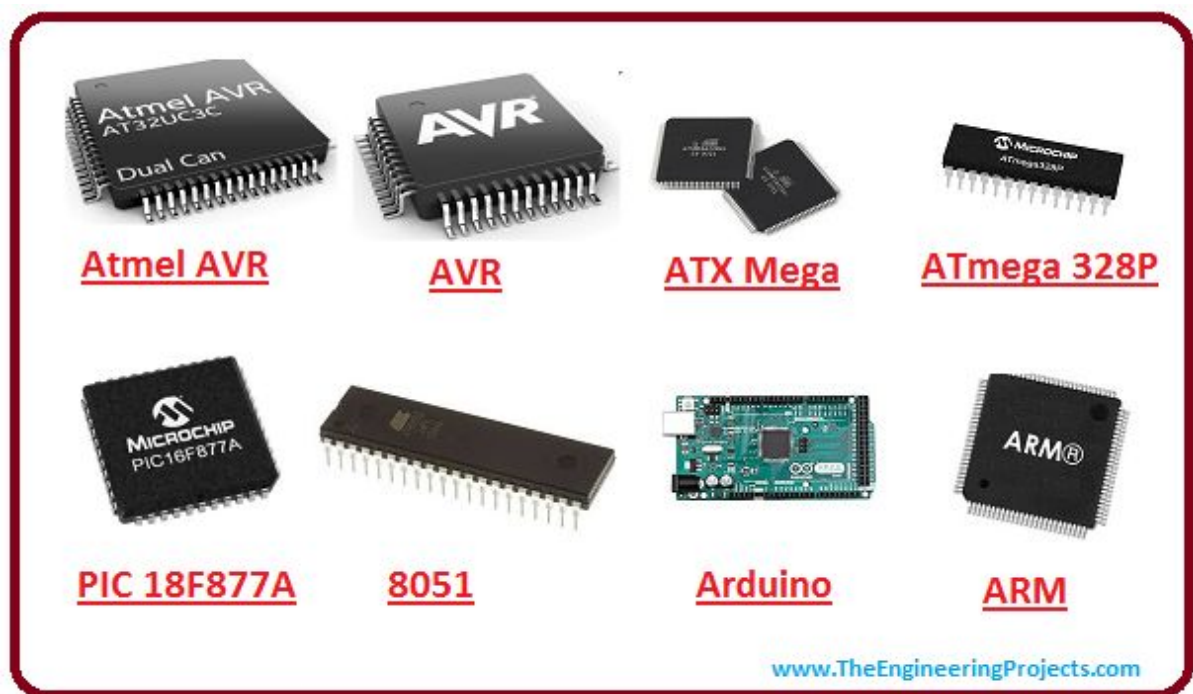
Ένας μικροελεγκτής τα περιλαμβάνει αυτά σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, καθιστώντας τον ικανό να λειτουργήσει πλήρως αυτόνομα έχοντας σαν επακόλουθο την μείωση του κόστους, της πολυπλοκότητας του συστήματος, καθώς και τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης.

2.1.2 Είσοδος-Έξοδος (I/O)

Οι μικροελεγκτές ενσωματώνουν ένα πλήθος από περιφερειακά εισόδου εξόδου. Συνήθη τέτοια περιφερειακά είναι μετρητές, διεπαφές επικοινωνίας UART, I²C, USB, μετατροπείς A/D, αναλογικοί συγκριτές, γεννήτριες PWM.

2.1.3 Μνήμη

Το σημαντικότερο από τα περιφερειακά που υπάρχουν ενσωματωμένα σε έναν μικροελεγκτή είναι η μνήμη. Δύο είναι τα κύρια είδη μνήμης, μόνιμης και προσωρινής αποθήκευσης, μη πτητική (Μνήμη ROM) και πτητική (Μνήμη RAM) αντίστοιχα. Εξαλείφοντας την ανάγκη εξωτερικής μνήμης, ένας μικροελεγκτής γίνεται ουσιαστικά αυτόνομος.



Εικόνα 2.4 Είδη Μικροελεγκτών

2.2 Arduino

Το arduino είναι μία απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ψηφιακών συσκευών και διαδραστικών κατασκευών. Περιλαμβάνει έναν ενσωματωμένο μικροελεγκτή και προγραμματιζόμενες εισόδους-εξόδους. Προγραμματίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Wiring, η οποία είναι στην ουσία η γλώσσα προγραμματισμού C++ και ένα σύνολο από βιβλιοθήκες, υλοποιημένες επίσης στην C++. Η σύνδεση με τον υπολογιστή γίνεται μέσω θύρας USB σε επίπεδο υλικού και μέσω προγραμμάτων όπως τα Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider σε επίπεδο λογισμικού. Λειτουργεί σαν βάση για τη δημιουργία διαδραστικών αντικειμένων (interactive objects) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη λήψη τιμών μέσω αισθητήρων σε πλήθος εφαρμογών, καθώς και διάφορες κατασκευές ελέγχου μηχανισμών. Κοινές τέτοιες εφαρμογές σχετίζονται με ρομποτική, θερμοστάτες, τρισδιάστατους εκτυπωτές, αισθητήρες κίνησης καθώς και χιλιάδες άλλες εφαρμογές, γνωστές ως arduino projects [14]. Οι μικροελεγκτές Arduino είναι διαδεδομένοι σε τεράστιο βαθμό διότι:

- Οι πληροφορίες κατασκευής του arduino βρίσκονται ελεύθερα διαθέσιμες για όποιον το επιθυμεί
- Όλες οι εκδόσεις των πλακετών διατίθενται συναρμολογημένες από τον κατασκευαστή και έτοιμες για χρήση ακόμα και από πολύ αρχάριους
- Οι κατασκευές που βασίζονται σε Arduino είναι απολύτως επεκτάσιμες σε όλο το φάσμα των απαιτήσεων που προκύπτουν, μέσω πλακετών επέκτασης (shields) και άλλων συμβατών κυκλωμάτων, τα οποία συνδέονται στον μικροελεγκτή μέσω των αναλογικών και ψηφιακών θυρών.
- Είναι πολύ οικονομικοί σε όλες τις εκδόσεις τους
- Το γεγονός ότι είναι ανοικτού κώδικα επιτρέπει σε οποιονδήποτε κατασκευαστή ηλεκτρονικών, να παρέχει τη δική του πλακέτα βασισμένη σε Arduino, με αποτέλεσμα να υπάρχει πληθώρα επιλογών αναλόγως τις ακριβής ανάγκες του εκάστοτε project. Επίσης, για κάθε υλοποίηση υπάρχει πληθώρα βιβλιοθηκών έτοιμου κώδικα διαδικασιών, με ελεύθερη πρόσβαση από τον καθένα.

- Το προγραμματιστικό περιβάλλον που χρησιμοποιεί, είναι πάρα πολύ απλό και φιλικό προς το χρήστη, ακόμα και αν ο χρήστης είναι αρχάριος, και τέλος
- Το Arduino είναι συμβατό με τα περισσότερα λειτουργικά συστήματα (Windows, MacOS, Linux κλπ.)

2.2.1 Περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) Arduino

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή Arduino γίνεται μέσω του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE. Το IDE είναι υλοποιημένο σε γλώσσα προγραμματισμού Java και βασίζεται στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού Processing. Περιλαμβάνει έναν επεξεργαστή κειμένου (text editor) όπου γράφονται τα προγράμματα (sketches), μία περιοχή μηνυμάτων για την ενημέρωση του χρήστη σχετικά με την πρόοδο, την κατάσταση ή τα λάθη των προγραμμάτων, μία γραμμή εργαλείων και ένα παράθυρο προβολής της σειριακής επικοινωνίας (serial monitor), όπου εμφανίζεται η επικοινωνία μεταξύ του Arduino και της θύρας USB. Επίσης, διαθέτει μεταγλωττιστή (compiler) για την μεταγλώττιση των προγραμμάτων και πλήθος έτοιμων παραδειγμάτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μελλοντικό προγραμματισμό (βιβλιοθήκες).

2.2.2 Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα προγραμματισμού του Arduino Uno βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C / C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR, όπως ο ATMega και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Ο compiler που χρησιμοποιείται είναι ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η βιβλιοθήκη AVRlibc. Λόγω της καταγωγής της από την C, η γλώσσα του Arduino χρησιμοποιεί τις ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπους δεδομένων και τους ίδιους τελεστές με τη γλώσσα

C. Επιπρόσθετα χρησιμοποιεί κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που έχουν να κάνουν με την εξειδικευμένη διαχείριση του υλικού της πλατφόρμας Arduino.

2.2.3 Ολοκληρωμένες πλακέτες επέκτασης (Shields)

Οι shields είναι ολοκληρωμένες πλακέτες που είναι ειδικά σχεδιασμένες ώστε να εφαρμόζουν πάνω στην πλακέτα του Arduino ενισχύοντας τη λειτουργικότητά του. Μερικές από τις πιο δημοφιλείς shields που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι η Ethernet shield, η οποία δίνει τη δυνατότητα δικτύωσης σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) ή ενσύρματα στο Internet, η WiFi shield, η οποία παρέχει τις ίδιες δυνατότητες με την Ethernet shield ασύρματα, η Screen shield, η οποία κυκλοφορεί σε διάφορες εκδοχές και δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης μιας ευρείας επιλογής οθονών, η GPS shield, η οποία παρέχει τη δυνατότητα εντοπισμού στίγματος, η Motor shield, η οποία δίνει τη δυνατότητα οδήγησης διάφορων κινητήρων, και τέλος η Data Logging Shield, η οποία παρέχει τη δυνατότητα χρήσης SD μνήμης αποθήκευσης δεδομένων, ενώ επιπλέον διαθέτει Real Time Clock που διατηρεί την ώρα και την ημερομηνία.

2.3 Adafruit Feather

Οι πλακέτες Feather κατασκευάζονται από την εταιρεία Adafruit (Η.Π.Α) και είναι πλακέτες βασισμένες πλήρως στο Arduino (Arduino based). Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι χρησιμοποιούν την ίδια γλώσσα προγραμματισμού, το ίδιο λογισμικό προγραμματισμού και την ίδια φιλοσοφία εισόδων και εξόδων (ψηφιακών και αναλογικών). Οι σειρά πλακετών Feather, διαθέτουν τα ίδια φυσικά χαρακτηριστικά (μήκος, πλάτος κλπ.), την ίδια δομή εισόδων και εξόδων, παρόμοιους μικροελεγκτές και τη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης επαναφορτιζόμενης μπαταρίας τύπου LiPo, η οποία φορτίζει όταν το Feather είναι συνδεδεμένο σε πηγή ρεύματος. Κάθε πλακέτα εκτός από τον μικροελεγκτή και τη βασική δομή των πυλών, διαθέτει ένα

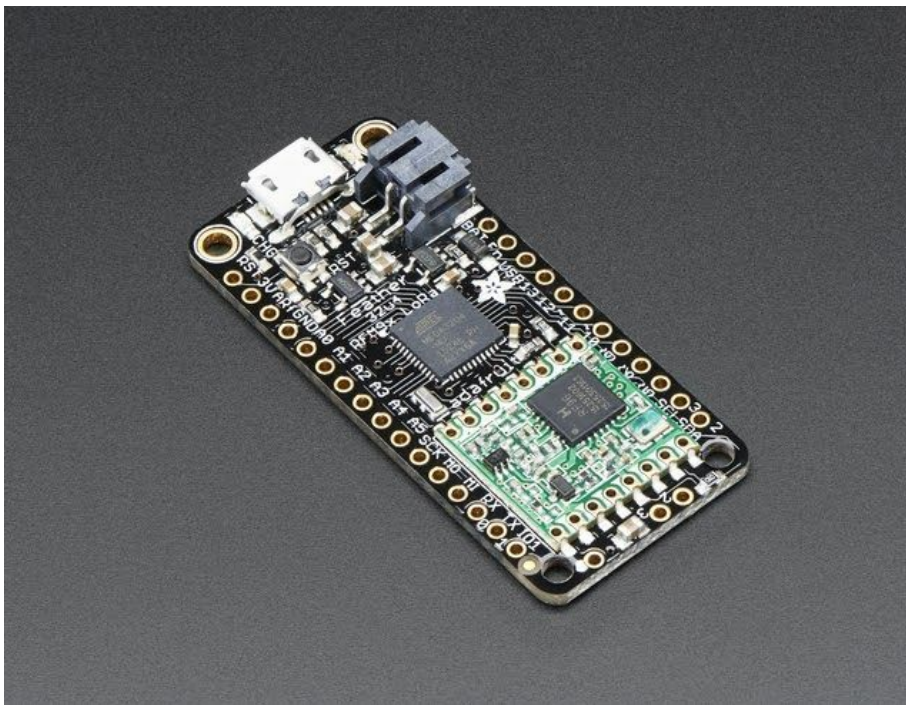
ειδικό χαρακτηριστικό, όπως συνδεσιμότητα με bluetooth, συνδεσιμότητα με δίκτυο κινητής (GSM), θύρα εισόδου για κάρτα μνήμης SD, κλπ [16].

Η ονομασία Feather (Φτερό), προέρχεται από τις διαστάσεις των πλακετών που είναι εξαιρετικά μικρές και λεπτές, καθώς και από το γεγονός ότι με τη δυνατότητα απευθείας σύνδεσης με μπαταρία, καθιστώντας τα συστήματα που βασίζονται σε αυτές φορητές. Τέλος, πέρα από τις βασικές πλακέτες, υπάρχουν και πλακέτες επέκτασης από την ίδια εταιρεία, όπως τα Arduino Shields, μόνο που στην περίπτωση αυτή ονομάζονται Feather Wings.

2.3.1 Adafruit Feather Lora

Το Adafruit Feather 32u4 Lora Radio (RFM9x) είναι ένας μικροελεγκτής με ενσωματωμένο πομποδέκτη LoRa και ενσωματωμένο βύσμα micro usb και κύκλωμα φόρτισης μπαταρίας (τεχνολογίας LiPo).

Ο μικροελεγκτής αυτός, λειτουργεί με επεξεργαστή ATmega32u4 χρονισμένο στα 8 MHz. Λειτουργεί με λογικό κύκλωμα στα 3.3 V, έχει 32 KBytes μνήμη τύπου flash και 2KBytes μνήμη RAM.



Εικόνα 2.5 Adafruit Feather LoRa

Είναι ιδανικός για φορητές κατασκευές και κυκλώματα, καθώς έχει ενσωματωμένη υποδοχή για μπαταρία 3.7 V τεχνολογίας LiPo, με την οποία μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα. Μπορεί φυσικά να λειτουργήσει και με σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο (με το κατάλληλο τροφοδοτικό), χωρίς να απαιτείται η σύνδεση μπαταρίας. Τέλος, αν είναι συνδεδεμένο στο ηλεκτρικό δίκτυο και περιλαμβάνει μπαταρία, το κύκλωμα φόρτισης που δρα αυτόνομα, θα φορτίσει τη μπαταρία και αν χρειαστεί θα πραγματοποιήσει αυτόματα την εναλλαγή λειτουργίας (π.χ. σε περίπτωση που σταματήσει η παροχή ρεύματος).



Εικόνα 2.6 Adafruit Feather LoRa (πίσω όψη)

Το Feather 32u4 Radio είναι πρακτικά το κλασικό 32u4 με ενσωματωμένο ένα chip RFM9x LoRa 433 ή 868/915 MHz.

Αρχικές δοκιμές με τις αρχικές ρυθμίσεις από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού είχαν τα εξής αποτελέσματα ως προς την εμβέλεια:

- Πάνω από 2 χιλιόμετρα σε ευθεία γραμμή με οπτική επαφή, με κεραία τύπου καλώδιο

- Μέχρι και 20 χιλιόμετρα σε ευθεία γραμμή με οπτική επαφή, με κατευθυνόμενη κεραία

2.3.2 Adafruit Feather HUZZAH ESP8266

Το Adafruit Feather HUZZAH ESP8266 είναι ένας μικροελεγκτής με ενσωματωμένο ολοκληρωμένο τσιπ Wi-Fi (μία οικογένεια τεχνολογιών ασύρματης δικτύωσης, η οποία χρησιμοποιείται ευρέως για την δικτύωση τοπικής περιοχής συσκευών και πρόσβαση στο διαδίκτυο) και ενσωματωμένο βύσμα micro usb και κύκλωμα φόρτισης μπαταρίας (τεχνολογίας LiPo).

Ο μικροελεγκτής αυτός, λειτουργεί με επεξεργαστή ESP8266 χρονισμένο στα 160 MHz. Λειτουργεί με λογικό κύκλωμα στα 3.3 V, έχει 4 MBytes μνήμη τύπου flash και 50 KBytes μνήμη RAM.

3. Μετρήσεις

3.1 Εισαγωγή

Οι μετρήσεις αποτελούν το βασικότερο μέσο για τη κατανόηση των φυσικών νόμων από τον άνθρωπο. Το πρώτο βήμα του ανθρώπου για τη δημιουργία ενός μετρικού συστήματος ήταν ο προσδιορισμός της μονάδας μήκους. Για την εύρεση μονάδας μήκους αρχικά χρησιμοποιήθηκαν μέρη από το ανθρώπινο σώμα (δάχτυλο, βραχίονας, η απόσταση δύο ποδιών) και για μεγαλύτερες αποστάσεις εισήγαγαν την έννοια του χρόνου (π.χ. μιας μέρας δρόμος). Μεχρι τον 18ο αιώνα, τα μετρα των διαφορων χωρων έγιναν μεν λιγότερο αόριστα, αλλά διατήρησαν καθαρά τοπικο χαρακτήρα. Η διεθνοποίηση αυτών επιχειρήθηκε πρώτα δια της εισαγωγής του δεκαδικού συστήματος από τον αστρονόμο G. Mouton. Τελικά, η ιδέα του G. Mouton ωρίμασε ανάμεσα στην επιστημονική κοινότητα και έτσι η γαλλική εθνοσυνέλευση αποτελούμενη από τους Borde, Lagrange, Laplace, Monge και Condorcet όρισε ως μονάδα μήκους το $1/(40 \cdot 10^6)$ του γήινου μεσημβρινού και ονόμασε αυτή ως “μέτρο”.

3.2 Μετρολογία

Οι μετρήσεις αποτελούν βασικό μέσο για την κατάκτηση της γνώσης και την κατανόηση των φυσικών νόμων από τον άνθρωπο. Η μετρολογία ως επιστήμη συμπεριλαμβάνει όλες τις εκδοχές της θεωρητικής και της πρακτικής μετρολογίας που αναφέρονται στις μετρήσεις με οποιαδήποτε ακρίβεια σε οποιοδήποτε πεδίο της επιστήμης. Το αντικείμενο της μετρολογίας είναι η εξαγωγή ποσοτικής πληροφορίας για τις ιδιότητες των αντικειμένων και των διαδικασιών με προσδιορισμένη ακρίβεια και αξιοπιστία. Τα μέσα της μετρολογίας είναι το σύνολο των μετρικών μέσων και των μετρολογικών προτύπων τα οποία διασφαλίζουν την ορθολογική χρήση της. Τέλος, η επιστήμη της μετρολογίας προκειμένου να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των ανθρώπων χωρίστηκε σε τρεις κατηγορίες με διαφορετικά επίπεδα πολυπλοκότητας και αβεβαιότητας μέτρησης και αυτές είναι οι εξής :

- Η Βιομηχανική μετρολογία εξασφαλίζει την επαρκή λειτουργία των μετρικών συστημάτων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, καθώς και επίσης και τις διαδικασίες ελέγχου και παραγωγής.
- Η Νομική μετρολογία εμπλέκεται με τις μετρήσεις και την αβεβαιότητα των μετρήσεων όπου αυτές έχουν επίδραση στη διαφάνεια οικονομικών συναλλαγών στην υγεία και στην ασφάλεια.
- Η Επιστημονική μετρολογία πραγματεύεται την οργάνωση και την ανάπτυξη των προτύπων μέτρησης μαζί με την υποστήριξη τους σε ύψιστο επίπεδο.

3.3 Συστήματα μονάδων

Οι μετρήσεις αποτελούν βασικό μέσο για την κατανόηση των φυσικών νόμων από τον άνθρωπο. Τα συστήματα μονάδων μέτρησης επιλέγονται έτσι ώστε να προκύπτουν απλές σχέσεις (χωρίς συντελεστές για τους φυσικούς νόμους με τη μεγαλύτερη ακρίβεια). Τα δύο βασικότερα συστήματα είναι το CGS (cm, gr, sec) και το MKS (m, kg, sec) [16]. Για τις ηλεκτρικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα εξής τρία συστήματα:

- Ηλεκτροστατικό σύστημα CGS_{ε0} (cm, gr, sec, διηλεκτρική σταθερά)

- Ηλεκτρομαγνητικό σύστημα CGS μ 0 (cm, gr, sec, μαγνητική διαπερατότητα)
- Σύστημα Giorgi (m, kg, sec, ampere)

Το 1881 εισήχθησαν από τον

Maxwell οι ακολουθίες πρακτικές ή απολυτές μονάδες. Αυτές ήταν:

- Ohm : $1\Omega = 10^9$ μονάδες αντίστασης CGS ϵ 0 ή μ 0
- Ampere: $1A = 10^{-1}$ μονάδες έντασης του CGS ϵ 0 ή μ 0
- Volt: $1V = 10^8$ μονάδες τάσης του CGS ϵ 0 ή μ 0

Για να είναι πιο εύκολα αναπαράξιμες, το 1893 θεσπίστηκαν οι κάτωθι διεθνείς μονάδες:

- Ohm : $1\Omega =$ αντίσταση στήλης Hg σε θερμοκρασία τηκόμενου πάγου, μήκους 106,300 cm και διατομής 1mm^2 .
- Ampere: $1A =$ ρεύμα διαρρέον διάλυμα AgNO_3 εντός ύδατος, αν προκαλεί κατακρήμνιση $0,00111800\text{gr/sec Ag}$.
- Volt: $1V =$ πτώση τάσης κατά μήκος αντίστασης 1Ω διαρρεόμενης υπο ρεύματος $1A$.

Το 1946 βρέθηκαν αποκλίσεις μεταξύ πρακτικών και διεθνών μονάδων με αποτέλεσμα το 1954 επανήλθαν ξανά οι διεθνείς μονάδες μέτρησης.

3.4 Πρότυπα Μετρήσεων

Πρότυπα μετρήσεων είναι οι υλικές εκείνες μονάδες μέτρησης, από τις οποίες αναγράφονται ή αναπαράγονται οι συνήθεις μονάδες μέτρησης. Επομένως κοινά χαρακτηριστικά των πρότυπων μετρήσεων είναι:

- Η σταθερότητα ως προς τον χρόνο
- Η σταθερότητα ως προς τη θερμοκρασία
- Η ακρίβεια της τιμής του κάθε προτύπου

Υπάρχουν βέβαια τα βασικά πρότυπα μέτρησης τα οποία είναι:

- Πρότυπα μέτρησης τάσης (δοχεία με ηλεκτρόδια - ηλεκτρόλυση)
- Πρότυπα μέτρησης αντίστασης (περιελίξεις συρμάτων)
- Πρότυπα μέτρησης αυτεπαγωγής (πηνία)
- Πρότυπα μέτρησης χωρητικότητας (πυκνωτές)

Ανάλογα με την ακρίβεια των πρότυπων μέτρησης διακρίνονται αυτά σε πρότυπα: απόλυτα, πρακτικής χρήσης μεγάλης ακρίβειας και μικρότερης ακρίβειας.

3.5 Σφάλματα

Κατά τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους οι ευρισκόμενες τιμές διαφέρουν λίγο είτε πολύ από την πραγματική τιμή του μεγέθους αυτού καθώς πολλοί παράγοντες επηρεάζουν την ακρίβεια της μέτρησης. Η εύρεση των σφαλμάτων που προκύπτουν κατά την πραγματοποίηση και καταγραφή των ηλεκτρικών μετρήσεων αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και των μετρήσεων. Τα σφάλματα ανάλογα με το πώς προκύπτουν διακρίνονται σε απόλυτα,

συστηματικά και τυχαία. Άρα, ανάλογα με την προέλευση του τα σφάλματα διακρίνονται σε:

- Σφάλματα εκ της φύσεως (περιβάλλον, θερμοκρασία, κ.α.)
- Σφάλματα εκ των οργάνων (προσθετικά, αναλογικά)
- Σφάλματα εκ του παρατηρητή (σφάλματα χειρισμών - που βρίσκονται και απομονώνονται εύκολα)

Παρακάτω θα αναφέρουμε αναλυτικά τη διαφορά των τριών σφαλμάτων καθώς επίσης θα αναλύσουμε και τα χαρακτηριστικά τους.

3.5.1 Απόλυτα και Σχετικά Σφάλματα

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως κατά την εκτέλεση σειράς μετρήσεων ενός φυσικού μεγέθους οι ευρισκόμενες τιμές διαφέρουν. Έτσι, αν κατά μια μέτρηση ενός μεγέθους, η μετρηθείσα ή παρατηρηθείσα τιμή είναι χ_1 , ενώ η αληθής ή πιθανότερη ή γενικά κάποια τιμή αναφοράς είναι χ , τότε προκύπτει ένα σφάλμα, που καλείται σχετικό σφάλμα (εξίσωση 3.1).

$$\sigma = \frac{\Delta\chi}{\chi} \quad (3.1)$$

όπου:

- $\Delta\chi$ η διαφορά $\chi - \chi_1$, δηλαδή το απόλυτο σφάλμα

3.5.2 Συστηματικά Σφάλματα

Τα συστηματικά σφάλματα προκύπτουν είτε από την κατασκευή είτε από τη λανθασμένη ρύθμιση του οργάνου της εκάστοτε μέτρησης. Το αίτιο τους είναι γνωστό αλλά η τιμή όχι πάντα και μελετώνται στις αρμόδιες επιστήμες. Τα συστηματικά σφάλματα υπακούουν στους φυσικούς νόμους. Το σχετικό σφάλμα της ένδειξης ενός οργάνου ορίζεται από τη σχέση 3.2 .

$$\Sigma = \frac{\max(\Delta\chi)}{\max(\chi)} \quad (3.2)$$

όπου:

- $\max(\chi)$ είναι η τιμή του χ στο τέλος της κλίμακας του οργάνου.

Πολλές φορές το μετρητέο μέγεθος ψ είναι μια γνωστή συνάρτηση λόγω κάποιου φυσικού νόμου - των μετρούμενων μεγεθών $\chi_1, \dots, \chi_n$, τότε μιλάμε περί έμμεσων συστηματικών σφαλμάτων τα οποία ορίζονται από τις σχέσεις 3.3 και 3.4 .

$$\Delta\psi = \psi - \psi_1 \quad (3.3)$$

$$\sigma_\psi = \frac{\Delta\psi}{\psi} \quad (3.4)$$

όπου:

- ψ και ψ_1 οι τιμές της ψ που προκύπτουν από τη συνάρτηση για τις πραγματικές τιμές $\chi_1 + \Delta\chi_1, \dots, \chi_n + \Delta\chi_n$ και τις μετρηθείσες τιμές $\chi_1, \dots, \chi_n$.

3.5.3 Τυχαία Σφάλματα

Εκτός από τα συστηματικά και τα απόλυτα σφάλματα των οποίων οι αιτίες είναι γνωστές υπάρχουν και τα σφάλματα των οποίων οι αιτίες είναι άγνωστες και δεν μπορούν να ελεγχθούν. Σε κάθε μέτρηση υπεισέρχεται το συστηματικό και το τυχαίο σφάλμα. Είναι δύσκολο να ξεχωρίσουμε αυτά τα δυο σφάλματα και προς τούτο απαιτούνται πολλές μετρήσεις και να μην υπάρχουν χονδροειδή σφάλματα [16]. Επειδή όμως τα ανωτέρω δεν πληρούνται, το ξεχώρισμα των δύο ειδών σφαλμάτων δεν επιτυγχάνεται πλήρως και η πιθανότερη τιμή του ζητούμενου φυσικού μεγέθους είναι θεωρητική. Ας υποθέσουμε ότι πραγματοποιείται μια σειρά n μετρήσεων $\chi_1, \dots, \chi_n$ ενός άγνωστου φυσικού μεγέθους πραγματικής τιμής χ . Έστω ότι χωρίζεται το διάστημα των μετρήσεων (μεταξύ της μικρότερης και της μεγαλύτερης μετρηθείσας τιμής) σε ίσα διαστήματα $\Delta\chi$, στα οποία κατανέμονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων (π.χ. n_1 μετρήσεις στο διάστημα $\Delta\chi_1$, n_2 μετρήσεις στο διάστημα $\Delta\chi_2$ κλπ). Με βάση την κατανομή των μετρήσεων στα αντίστοιχα διαστήματα μπορεί να σχεδιαστεί η γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφάνισης τιμών κατά διαστήματα $\Delta\chi$ η οποία ονομάζεται καμπύλη πιθανοτήτων.

3.6 Συστήματα Μετρήσεων

3.6.1 Εισαγωγή

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη λήψη των ηλεκτρικών μετρήσεων χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες, αναλόγως της μεθόδου στην οποία βασίζονται για τη λήψη των μετρήσεων και του πεδίου χρήσης τους, αλλά και του συστήματος μέτρησης που χρησιμοποιούν. Μια από τις κυριότερες μορφές διάκρισης των οργάνων μέτρησης, σχετίζεται με τον τρόπο καταγραφής και παρουσίασης της πληροφορίας που προέκυψε από τη μέτρηση. Βάσει αυτού του τρόπου διάκρισης, τα όργανα μπορούν να διαχωρίζονται σε αναλογικά και ψηφιακά. Θεωρητικά, τα αναλογικά όργανα μπορούν να αποδώσουν οποιαδήποτε μετρήσιμη τιμή λόγω του συνεχούς τρόπου μέτρησης (συνήθως αποτυπώνουν τις μετρήσεις μέσω της μετακίνησης μιας βελόνας πάνω σε μια βαθμονομημένη κλίμακα). Αντιθέτως, τα ψηφιακά όργανα βασίζονται στη δειγματοληψία, δηλαδή στη λήψη και απεικόνιση διακριτών τιμών, οι οποίες παρουσιάζονται σε μια οθόνη. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα αναλογικά όργανα μέτρησης τείνουν να εκλείψουν, λόγω των μειονεκτημάτων που προκύπτουν από τον τρόπο λειτουργίας τους, όπως είναι τα πολλά κινητά και μηχανικά μέρη, η αυξημένη πιθανότητα αστοχίας των εξαρτημάτων τους και πολλά ακόμα.

3.6.2 Συνδεσμολογία Οργάνου Απόκλισης

Κάθε όργανο απόκλισης μπορεί να συνδεθεί με κατάλληλο τρόπο για να μετρήσει ένα συγκεκριμένο ηλεκτρικό μέγεθος. Οι συνηθέστερες μετρήσεις αφορούν τα βασικά ηλεκτρικά μεγέθη τάση, ρεύμα και ισχύ. Το για κάθε μέγεθος είναι πολύ μεγάλο, π.χ. για τάσεις το εύρος μπορεί να ξεκινά από μV και να καταλήξει σε kV και αντίστοιχα για τα ρεύματα. Σε ειδικές περιπτώσεις και εφαρμογές μπορεί να είναι ακόμα χαμηλότερα, π.χ. nV .

Το όργανο απόκλισης αντιδρά σε ρεύμα αλλά μπορεί να συνδεθεί και ως αμπερόμετρο και ως βολτόμετρο. Τα διαθέσιμα στο εμπόριο όργανα είναι βέβαια προκατασκευασμένα για συγκεκριμένη αποστολή. Επίσης, κάθε πραγματικό όργανο παρουσιάζει μια συγκεκριμένη αντίσταση, που οφείλεται στο πηνίο ή στα πηνία που αποτελούν αλλά και στον τρόπο που το συνδέονται. Για παράδειγμα, κακές ή βρώμικες επαφές αλλοιώνουν τη μέτρηση χωρίς γίνει αντιληπτό οτιδήποτε. Επιπλέον, τα ηλεκτρικά στοιχεία που αποτελούν το όργανο έχουν φυσικά και χωρητικότητα και επαγωγή, αν και σε παρασιτικά επίπεδα. Συνήθως αναπαρίσταται ένα πραγματικό όργανο σαν μια ωμική αντίσταση σε σειρά ή παράλληλα με ένα εξιδανικευμένο όργανο στο οποίο δεν ρέει ρεύμα.

3.6.3 Ευαισθησία Οργάνων

Η ευαισθησία ενός οργάνου ορίζεται από το λόγο :

$$\eta = \frac{\text{μέγιστη ένδειξη}}{\text{μέγιστη απορροφούμενη ισχύς}} \quad (3.5)$$

όπου η μέγιστη ένδειξη είναι τιμή στο τέλος της κλίμακας (πλήρης κλίμακα). Για ένα βολτόμετρο, ισχύει η σχέση 3.6 .

$$\eta = \frac{V_{\Pi\kappa}}{W_{\Pi\kappa}} = \frac{V_{\Pi\kappa}}{\frac{V_{\Pi\kappa}^2}{R_m}} = \frac{R_m}{V_{\Pi\kappa}} \frac{\Omega}{V} \quad (3.6)$$

όπου:

- $V_{\Pi\kappa}$ Τάση πλήρους κλίμακας (Μέγιστη τάση οργάνου)
- $W_{\Pi\kappa}$ Μέγιστη απορροφούμενη ισχύς
- R_m Εσωτερική Αντίσταση

Ταυτόχρονα, ο λόγος που προέκυψε είναι ίσος με το αντίστροφο του ρεύματος που διαρρέει το όργανο όταν δείχνει στην πλήρη κλίμακα, εξίσωση 3.7 .

$$\eta = \frac{R_m}{V_{\Pi\kappa}} = \frac{1}{I_{m\Pi\kappa}} \quad (3.7)$$

όπου:

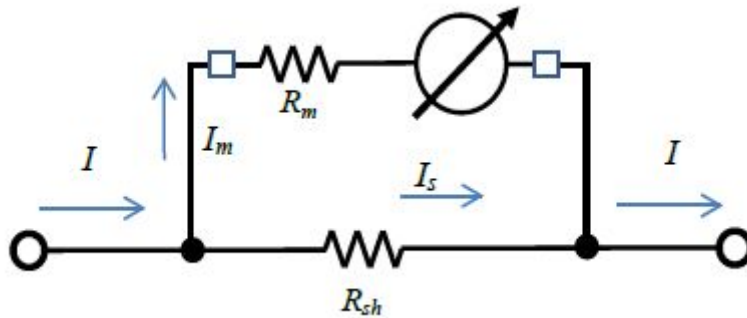
- $V_{\Pi\kappa}$ Τάση πλήρους κλίμακας (Μέγιστη τάση οργάνου)
- $I_{m\Pi\kappa}$ Ρεύμα που διαρρέει το όργανο
- R_m Εσωτερική Αντίσταση

Το ρεύμα αυτό τυπικά είναι 50 μA ενώ το η κυμαίνεται συνήθως από 10 έως 100k Ω/V . Η ευαισθησία η του οργάνου αναγράφεται, συνήθως στην πλακέτα ανάγνωσης.

3.6.4 Αμπερόμετρο

Ένα όργανο απόκλισης π.χ. κινητού πηνίου με μόνιμο μαγνήτη, είναι από τη φύση του ένας μετρητής ρεύματος (εικόνα 3.1). Όμως, μπορεί να μετρήσει μόνο πολύ μικρά ρεύματα καθώς είναι εύκολο να βρεθεί η βελόνα στο τέρμα της κλίμακας ή να

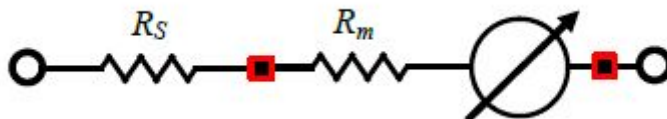
καί. Χρειάζεται λοιπόν ένας τρόπος να περιοριστεί το ρεύμα. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας παράλληλα με το όργανο μια αντίσταση R , μικρής σχετικά τιμής, που αποκαλείται αντίσταση διακλάδωσης (shunt resistance).



Εικόνα 3.1 Αμπερόμετρο [17]

3.6.4 Βολτόμετρο

Σε ένα όργανο απόκλισης η κίνηση της βελόνας είναι ανάλογη του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, που με τη σειρά του είναι ανάλογο της τάσης στα άκρα του πηνίου (εικόνα 3.2). Συνεπώς, το όργανο αυτό μπορεί να μετρήσει και τάση. Όμως, επειδή η αντίσταση του πηνίου είναι μικρή, μπορεί να μετρήσει μόνο μικρές τάσεις. Για να αυξηθεί το εύρος, συνδέεται σε σειρά με το όργανο μια αντίσταση R , που αποκαλείται πολλαπλασιαστική αντίσταση (multiplier resistance). Μια πολλαπλασιαστική αντίσταση ίση με 9 φορές την αντίσταση του οργάνου R_m θα αυξήσει το εύρος της κλίμακας κατά 10 φορές.



Εικόνα 3.2 Βολτόμετρο [17]

4. Οθόνες

4.1 Εισαγωγή

Προς τα μέσα του 18ου αιώνα, οι πρώτες ενδείξεις μιας νέας ανακάλυψης άρχισαν να διαφαίνονται. Μηχανικοί πειραταματίζονταν με διαφόρων ειδών ηλεκτρικές, οπτικές και μηχανικές τεχνολογίες με σκοπό να μεταφέρουν και να αναμεταδώσουν οπτικό υλικό. Οθόνη καλείται μια συσκευή ή μια διάταξη συσκευών που επιτρέπει την προβολή εικόνων ή πληροφοριών σε καθορισμένο χώρο στην επιφάνεια. Με το πέρασμα του χρόνου η οθόνη εξελίχθηκε και έγινε αναπόσπαστο κομμάτι στην καθημερινότητα των χρηστών. Από τότε μέχρι τώρα η οθόνη έχει αλλάξει το σχήμα της, το χρώμα της, την τεχνολογία και πλέον τις παροχές της.

4.2 LCD (Liquid Crystal Display - Οθόνη Υγρών Κρυστάλλων)

Οι οθόνες υγρών κρυστάλλων βασίζονται στην ανακάλυψη του υγρού κρυστάλλου που έκανε ο βοτανολόγος Friedrich Reinitzer το 1888. Ωστόσο η πρώτη πειραματική εφαρμογή έγινε το 1968 από την εταιρεία RCA. Παρά το παράδοξο του ονόματος (υγρός κρύσταλλος) υπάρχουν κάποια υλικά στην φύση τα οποία βρίσκονται σε μια ενδιάμεση φυσική κατάσταση η οποία δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ούτε ως στερεά ούτε ως υγρή. Τα μόριά τους μπορούν να κινηθούν ελεύθερα όπως στα υγρά αλλά ο προσανατολισμός τους παραμένει ο ίδιος όπως στα στερεά. Λόγω της μοριακής τους δομής έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν την πολικότητα του φωτός που περνά από μέσα τους ανάλογα με την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που εφαρμόζεται σε αυτούς. Το φως αρχικά παράγεται από λαμπτήρες φθορισμού που βρίσκονται πίσω από την οθόνη και κατευθύνεται προς τους υγρούς κρυστάλλους οι οποίοι είναι εγκλωβισμένοι μέσα σε φίλτρα οριζόντιας πόλωσης. Έτσι μια οθόνη υγρών κρυστάλλων είναι ένας πολύστρατος σχεδιασμός αποτελούμενος από πολωτικά φίλτρα και υγρούς κρυστάλλους. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα πλεονεκτήματα και μερικά από τα μειονεκτήματα της οθόνης υγρών κρυστάλλων [17].

Πλεονεκτημάτα

- Μικρή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και κατ'επέκταση μικρότερη έκλυση θερμότητας από τη συσκευή στο περιβάλλον.
- Μικρό βάρος και μικρός όγκος
- Εκπέμπουν λίγη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Η ωφέλιμη περιοχή απεικόνισης είναι ίση με το μέγεθος της οθόνης σε αντίθεση με τις οθόνες CRT.

Μειονεκτήματα

- Εύθραυστες και ευαίσθητες σε κοινά καθαριστικά επιφανειών
- Κακή χρωματική απόδοση και μικρή αντίθεση
- Μεγάλος χρόνος απόκρισης / μικρός ρυθμός ανανέωσης στις εικόνες

4.3 LED (Light Emitting Diode)

Μια οθόνη LED είναι μια επίπεδη οθόνη που χρησιμοποιεί διόδους εκπομπής φωτός για απεικόνιση. Μια οθόνη LED μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτόνομα είτε ως κομμάτι μιας μεγάλης οθόνης (πίνακας) όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλα κτίρια μαζική συνάθροισης. Υπάρχουν δύο τύποι οθονών LED, αυτές που χρησιμοποιούν διόδους εκπομπής φωτός και αυτές που χρησιμοποιούν τυπωμένα κυκλώματα. Ο πρώτος τύπος είναι και ο πιο διαδεδομένος τόσο σε εξωτερικές όσο και σε εσωτερικές εφαρμογές. Μια ομάδα από μπλε, κόκκινες και πράσινες διόδους συνδυάζονται έτσι ώστε να προκύψει το κατάλληλο χρώμα σε κάθε εικονοστοιχείο(pixel) τα οποία τοποθετούνται το ένα δίπλα στο άλλο με αποτέλεσμα την δημιουργία της εκάστοτε εικόνας. Ο αριθμός των εικονοστοιχείων μιας εικόνας καθορίζουν και την ανάλυση της. Παρακάτω θα παρουσιάζονται μερικά πλεονεκτήματα και μερικά μειονεκτήματα μιας οθόνης LED.

Πλεονεκτήματα

- Καλύτερη αναπαράσταση του μαύρου και καλύτερη αντίθεση σε μαύρες περιοχές.
- Μεγαλύτερος χρόνος ζωής.
- Καλύτερη αναπαράσταση των χρωμάτων

Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος

4.4 OLED (Organic Light Emitting Diode)

Η AMOLED (Active-Matrix Organic Light Emitting-Diode) αποτελεί μια τεχνολογία απεικόνισης και εκπομπής για χρήση σε συσκευές κινητών τηλεφώνων και τηλεοράσεων. Μια οθόνη τεχνολογίας AMOLED η απλουστευτικά OLED αποτελείται από μια οθόνη ενεργών στοιχείων OLED εικονοστοιχείων (pixels) που εκπέμπουν φωτεινότητα κατά την ηλεκτρική ενεργοποίηση στην οποία το ρεύμα εισέρχεται σε μια σειρά από τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης (TFT) που λειτουργούν ως διακόπτες οι οποίοι ελέγχουν την ροή σε κάθε εικονοστοιχείο. Η συνεχής ροή του ρεύματος ελέγχεται ουσιαστικά από δύο τουλάχιστον τρανζίστορ λεπτής μεμβράνης σε κάθε εικονοστοιχείο όπου το ένα χρησιμοποιείται για να ξεκινάει και να σταματήσει την φόρτιση του πυκνωτή αποθήκευσης και το δεύτερο για να παρέχει μια πηγή τάσης επιθυμητού επιπέδου για να δημιουργεί μια σταθερή ροή στο εικονοστοιχείο και να εξαλείφει την ανάγκη για πολύ υψηλή ροή ρεύματος που απαιτείται για την λειτουργία της οθόνης παθητικών στοιχείων OLED. Οι δύο κύριες ελαστικές οθόνες τεχνολογίας TFT, πολυκρυσταλλικού πυριτίου (poly-Si) και άμορφου πυριτίου (a-Si), χρησιμοποιούνται σήμερα για τις οθόνες OLED. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις έτσι και σε αυτήν θα παραθέσουμε μερικά πλεονεκτήματα και μερικά μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνολογίας.

Πλεονεκτήματα

- Πολύ υψηλός λόγος αντίθεσης, πάνω από 1000000:1, στατικός
- Εξαιρετική γωνία θέασης
- Εξαιρετικό επίπεδο μαύρου
- Ευρεία γκάμα χρωμάτων

Μειονεκτήματα

- Υπάρχει πιθανότητα να υποστούν κάψιμο οι οθόνες
- Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας
- Δαπανηρή κατασκευή
- Τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ευαίσθητα στην φθορά με την πάροδο του χρόνου
- Το μπλε χρώμα υποβαθμίζεται περισσότερο σε συνδυασμό με τα άλλα χρώματα

5. Αισθητήρες

5.1 Θερμοκρασίας & Υγρασίας Αέρα

Υγρασία

Η σχετική υγρασία είναι η ποσότητα υγρασίας στον αέρα σε σχέση με το σημείο κορεσμού της υγρασίας στον αέρα. Στο σημείο κορεσμού, η υγρασία στον αέρα συμπυκνώνεται και συγκεντρώνεται σε επιφάνειες σχηματίζοντας πάχνη.

Το σημείο κορεσμού αλλάζει με βάση τη θερμοκρασία του αέρα. Ο κρύος αέρας μπορεί να συγκρατήσει μικρότερα επίπεδα υγρασίας πριν πραγματοποιηθεί κορεσμός, ενώ ο θερμός αέρας μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερα επίπεδα.

Ο τύπος για τον υπολογισμό της σχετικής υγρασίας [18] είναι:

$$RH = \left(\frac{\rho_w}{\rho_s} \right) * 100\% \quad (5.1)$$

όπου:

- RH: Σχετική Υγρασία
- ρ_w : Πυκνότητα Υγρασίας
- ρ_s : Πυκνότητα Υγρασίας στον κορεσμό

Η σχετική υγρασία εκφράζεται με κλίμακα επί τοις εκατό (%). Στο 100% RH, πραγματοποιείται υγροποίηση στον αέρα, ενώ στο 0% RH ο αέρας είναι εντελώς ξηρός.

Οι αισθητήρες υγρασίας είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για να μετρούν τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντα αέρα ή του κινούμενου αέρα.

Θερμοκρασία

Η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που σχετίζεται με την κίνηση των μορίων και περικλείεται στα σώματα. Η σημασία της είναι τεράστια τόσο για τη ζωή και την εξάπλωση των ζωντανών οργανισμών, όσο και για την εξάτμιση και την εξατμισοδιαπνοή που παίζουν σημαντικό ρόλο στην θερμοοικονομία του πλανήτη. Ένα μέσο για να μετρηθεί η θερμότητα που υπάρχει στο περιβάλλον, είναι μετρώντας τη θερμοκρασία. Η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί ίσως το σημαντικότερο κλιματικό στοιχείο και την βασικότερη παράμετρο σε όλες τις κλιματικές κατατάξεις. Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται στην Μετεωρολογία είναι οι βαθμοί Κελσίου (°C) και οι βαθμοί Fahrenheit (°F), ενώ η θερμοκρασία του αέρα μετρείται υπό σκιά.

Το thermistor (therma and resistor) είναι ένας τύπος αντίστασης, η τιμή της οποίας επηρεάζεται από τις αλλαγές της θερμοκρασίας (πολύ περισσότερο από τις ωμικές αντιστάσεις), έτσι χρησιμοποιείται και για τη μέτρησή της [18].

Οι τύποι των thermistors είναι δύο:

- Τα Αρνητικού Συντελεστή Θερμοκρασίας (Negative Temperature Coefficient) ή **NTC**, στα οποία όσο αυξάνεται η θερμοκρασία η αντίσταση μειώνεται. Αυτή η ιδιότητα
- Τα **PTC**, στα οποία η αντίσταση αυξάνεται καθώς ανυψώνεται η θερμοκρασία ώστε να προστατεύουν σε συνθήκες υπερρευμάτων. Συνήθως συνδέονται σε σειρά στο κυκλώμα, σαν αυτοαναφερομένες ασφαλείες.

Τα thermistor διαφέρουν από τους Μετρητές Θερμοκρασίας Τύπου Αντίστασης (RTDs) στα εξής σημεία:

- Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του thermistor γενικά είναι ένα κεραμικό ή ένα πολυμερές υλικό, ενώ οι RTDs χρησιμοποιούν καθαρά μέταλλα.
- Στη θερμοκρασιακή συμπεριφορά: Τα RTDs είναι χρήσιμα για μεγάλες περιοχές θερμοκρασιών, ενώ τα thermistor πετυχαίνουν μεγάλες ακρίβειες μέσα σε περιορισμένη περιοχή θερμοκρασιών, μεταξύ -90°C και 130°C .

5.1.1 DHT 11

Τα χαρακτηριστικά του DHT11 ως προς την ακρίβεια είναι:

- Εύρος Υγρασίας: 20-90% RH
- Ακρίβεια Υγρασίας: $\pm 5\%$ RH
- Εύρος Θερμοκρασίας: $0-50^{\circ}\text{C}$
- Ακρίβεια Θερμοκρασίας: $\pm 2\%$ $^{\circ}\text{C}$
- Τάση Λειτουργίας: 3V με 5.5V

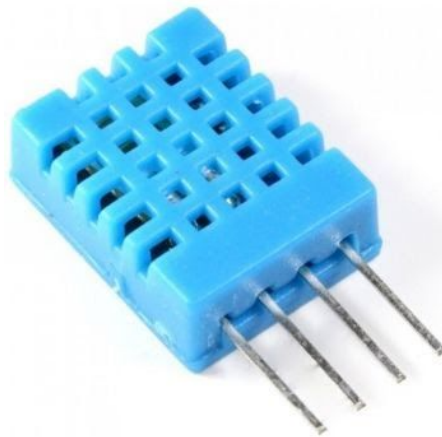
Το DHT11 μετράει τη *σχετική υγρασία* και τη θερμοκρασία του αέρα.

Ο αισθητήρας DHT11 ανιχνεύει την υγρασία μετρώντας την ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων. Το αισθητήριο μέρος της υγρασίας είναι ένα υπόστρωμα

που συγκρατεί την υγρασία με ηλεκτρόδια στην επιφάνειά του. Όταν απορροφάται η υγρασία από το υπόστρωμα, ιόντα απελευθερώνονται από αυτό και αυξάνεται η αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Η μεταβολή της αντίστασης μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων είναι ανάλογη με τη σχετική υγρασία. Όσο υψηλότερη είναι η σχετική υγρασία, τόσο μικρότερη είναι η αντίσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων και το αντίθετο.

Τέλος, ο DHT11 μετρά την θερμοκρασία μέσω ενός θερμίστορ(thermistor) τύπου NTC, το οποίο είναι εγκατεστημένο στο εσωτερικό του.

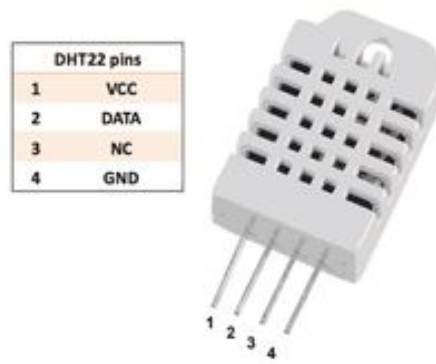
Ο αισθητήρας αυτός συνδέεται με μικροελεγκτές μέσω αναλογικής θύρας.



Εικόνα 5.1 Αισθητήρας Υγρασίας & Θερμοκρασίας αέρα DHT11

5.1.2 DHT 22

Ο DHT-22 είναι ένα αισθητήριο που χρησιμοποιείται για την εύρεση της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας στον χώρο.



Εικόνα 5.2 Αισθητήρας Υγρασίας & Θερμοκρασίας αέρα DHT22

Το DHT-22 είναι ένας εξίσου βασικός, χαμηλού κόστους, αισθητήρας για την εύρεση υγρασίας και θερμοκρασίας στον χώρο. Στο εσωτερικό του κρύβει έναν αισθητήρα σχετικής υγρασίας και ένα θερμίστορ και η μόνη διαφορά με τον DHT11 (βλ. παραπάνω) είναι ότι ο DHT22 έχει μεγαλύτερο εύρος μετρήσεων και καλύτερη ακρίβεια.

Τα χαρακτηριστικά του DHT22 είναι:

- Πηγή : 3-5V
- Μέγιστο ρεύμα: 2.5mA
- Υγρασία: 0-100%, ακρίβεια 2-5%
- Θερμοκρασία: -40 με 80°C, ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Ο αισθητήρας αυτός συνδέεται με μικροελεγκτές μέσω αναλογικής θύρας.

5.1.3 Adafruit Si7021

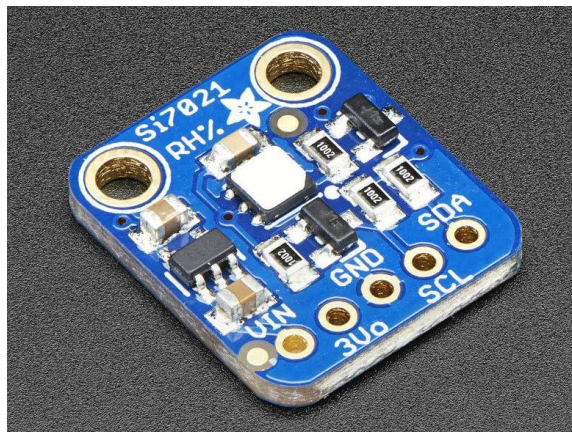
Ο αισθητήρας αυτός μετράει τόσο τη σχετική υγρασία όσο και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Είναι ουσιαστικά ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα βασισμένο σε ένα μονολιθικό CMOS IC (Complementary metal–oxide–semiconductor / Συμπληρωματικός μέταλλο - οξείδιο - ημιαγωγός) σε συνδυασμό με αισθητήρια θερμοκρασίας & υγρασίας, μετατροπέα σήματος από αναλογικό σε ψηφιακό,

επεξεργαστή σήματος, βαθμονόμηση δεδομένων και δίαυλο I^2C για τη μεταφορά δεδομένων.

Τα χαρακτηριστικά του Si - 7021 είναι:

- Πηγή : 1.9 - 3.6 V
- Κατανάλωση ρεύματος: 150 μ A ενεργό, 60 nA σε αναμονή
- Υγρασία: 0-100% RH, ακρίβεια $\pm 3\%$ RH (0–80% RH)
- Θερμοκρασία: -40 με $+125$ $^{\circ}\text{C}$, ακρίβεια ± 0.4 $^{\circ}\text{C}$ (-10 με $+85$ $^{\circ}\text{C}$)

Ο I^2C είναι ένας σειριακός δίαυλος που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση περιφερειακών μικρής ταχύτητας με μητρικές πλακέτες, κινητά τηλέφωνα, μικροελεγκτές και γενικά ενσωματωμένα συστήματα και δημιουργήθηκε από τη Philips. Μέσω του διαύλου I^2C γίνεται εξοικονόμηση εισόδων στον μικροελεγκτή, καθώς συνδέονται παράλληλα μεγάλος αριθμός αισθητήρων μέσω μόνο δύο καλωδίων (SDA, γραμμή δεδομένων και SCL, γραμμή ρολογιού). Κάθε αισθητήρας που χρησιμοποιεί αυτό το πρωτόκολλο, έχει μία μοναδική διεύθυνση και μέσω αυτής η ο μικροελεγκτής ανατρέχει στον επιθυμητό αισθητήρα και λαμβάνει τις μετρήσεις.



Εικόνα 5.3 Αισθητήρας Υγρασίας & Θερμοκρασίας αέρα Si-7021

5.2 Υγρασίας Εδάφους

Η αρχή λειτουργίας των αισθητήρων υγρασίας εδάφους βασίζεται είτε σε μηχανικές είτε σε ηλεκτρικές αρχές.

Ως προς τις μηχανικές αρχές, το πιο διαδεδομένο όργανο μέτρησης είναι το τασίμετρο (tensiometer). Ένα τασίμετρο αποτελείται από μία κεραμική κάψα η οποία τοποθετείται μέσα στο έδαφος και συνδέεται με μία μονάδα μέτρησης της τάσης (μανόμετρο) δια μέσου ενός σωλήνα. Το σύστημα αυτό γεμίζεται με νερό και η κάψα έρχεται σε ισορροπία με την υγρασία του εδάφους που βρίσκεται κάτω από αυτή. Το νερό ρέει έξω από την κάψα όταν το έδαφος ξηραίνεται και δημιουργεί μεγαλύτερη τάση, ή εισέρχεται μέσα σε αυτή όταν το έδαφος γίνεται υγρότερο και έχει μικρότερη τάση. Οι μεταβολές στην τάση ή την πίεση μετριοούνται με το μανόμετρο [19].

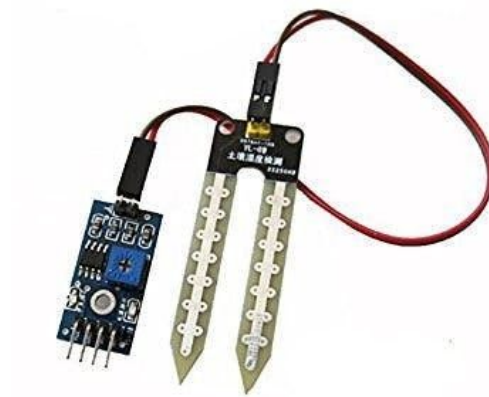


Εικόνα 5.4 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους - Τενσιόμετρο

Όσον αφορά τους αισθητήρες που βασίζονται σε ηλεκτρικές αρχές, δύο είναι οι βασικότερες κατηγορίες μετρητικών οργάνων:

5.2.1 Ωμικά Υγρασιόμετρα

Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από δύο αγωγίμους ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την ογκομετρική περιεκτικότητα του νερού στο χώμα. Οι δύο αυτοί ακροδέκτες επιτρέπουν στο ρεύμα να περάσει διαμέσου το εδάφους και έτσι η τιμή της αντίστασης που θα μετρηθεί, αντιστοιχίζεται με την τιμή της υγρασίας. Όσο πιο υγρό είναι το έδαφος, τόσο μικρότερη αντίσταση εντοπίζει ο αισθητήρας. Αντίθετα, όταν το έδαφος είναι ξηρό, τότε η αντίσταση είναι μεγαλύτερη.



Εικόνα 5.5 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους - Ωμικό Υγρασιόμετρο

5.2.2 Χωρικά Υγρασιόμετρα

Οι αισθητήρες αυτοί αποτελούνται από δύο αγωγίμες μεταλλικές πλάκες μεταξύ των οποίων υπάρχει υγροσκοπικό υλικό (πολυμερές πλαστικό). Όταν το υγροσκοπικό υλικό απορροφά υγρασία η χωρητικότητα μεταξύ των δύο πλακών μειώνεται. Η μείωση της χωρητικότητας ανιχνεύεται από κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα και μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση που είναι ανάλογη της σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 5.6 Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους - Χωρικό Υγρασιόμετρο

6. Συσσωρευτές Λιθίου

6.1 Εισαγωγή

Οι συσσωρευτές λιθίου αποκτούν όλο και περισσότερες χρήσεις χάρη στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του λιθίου. Είναι ένα μέταλλο το οποίο είναι ελκυστικό σαν υλικό ανόδου στην μπαταρία λόγω του μικρού του βάρους, της υψηλής τάσης που παρουσιάζει, της υψηλής ηλεκτρομηχανικής ισοδυναμίας και τέλος της καλής αγωγιμότητάς του.

Οι συσσωρευτές λιθίου χρησιμοποιήθηκαν αρχικά περίπου στις αρχές του 1970 σε επιλεγμένες στρατιωτικές εφαρμογές, αλλά η χρήση του περιορίσθηκε αργότερα καθώς έπρεπε να λυθούν θέματα που αφορούσαν την ασφάλεια αλλά και τη δομή των στοιχείων. Έκτοτε, κατασκευάστηκαν συσσωρευτές λιθίου με διάφορα υλικά για την κάθοδο και τον ηλεκτρολύτη, σε διάφορα σχήματα και μεγέθη. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα πλεονεκτήματα του λιθίου τα οποία είναι :

- Υψηλή τάση. Οι συσσωρευτές λιθίου έχουν υψηλή τάση (μπορεί να φτάσει και τα 4V, ανάλογα με το υλικό της καθόδου)
- Υψηλή ειδική ενέργεια και ενεργειακή πυκνότητα. Η αποδιδόμενη ενέργεια των μπαταριών λιθίου είναι 2 με 4 φορές καλύτερη σε σχέση με τις μπαταρίες που χρησιμοποιούν ψευδάργυρο για την άνοδο
- Λειτουργία σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Πολλές μπαταρίες λιθίου έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν από 70°C έως -40°C
- Υψηλότερος χρόνος αποθήκευσης. Οι συσσωρευτές λιθίου μπορούν να αποθηκεύσουν για μεγάλες περιόδους ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες

Οι συσσωρευτές λιθίου μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το υλικό της καθόδου και τον τύπο του ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν. Για το υλικό του ηλεκτροδίου της καθόδου χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά όπως το διοξείδιο του θείου, διοξείδιο του μαγνησίου, ο διθειούχος σίδηρος και το χλωριούχο θειονύλιο [20].

6.2 Φυσικές Ιδιότητες - Χημική Διαδικασία

Το λίθιο αποτελεί ένα εξαιρετικό υλικό λόγω των ιδιοτήτων που έχει. Το σταθερό του ηλεκτροχημικό ισοδύναμο είναι το υψηλότερο από όλα τα άλλα μέταλλα, έχει άριστη σταθμική ενεργειακή πυκνότητα και με το υψηλό δυναμικό του, το οποίο είναι κατώτερο μόνο από το αλουμίνιο και το μαγνήσιο σε ογκομετρική ενεργειακή βάση (Wh/lt).

Το λίθιο προτιμάται από τα άλλα αλκαλικά μέταλλα λόγω των καλύτερων μηχανικών χαρακτηριστικών και της χαμηλής αντιδραστικότητάς του. Είναι το ελαφρύτερο από όλα τα μεταλλικά στοιχεία, με μια πυκνότητα περίπου με το μισό από την πυκνότητα του νερού. Είναι μαλακό και ελατό και μπορεί εύκολα να αποκοπεί σε λεπτές ταινίες όντας ένας καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος.

6.3 Υλικά Καθόδου

Τα υλικά καθόδου μπορεί να είναι είτε οργανικές είτε ανόργανες ουσίες και επιλέγονται με κριτήρια την επίτευξη υψηλής τάσης, υψηλής πυκνότητας ενέργειας και την συμβατότητα με τον ηλεκτρολύτη. Κατά προτίμηση θα πρέπει να είναι αγωγίμα, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα δύσκολο για αυτό και τα διαθέσιμα στερεά υλικά καθόδου αναμειγνύονται συνήθως με αγωγίμο υλικό όπως είναι ο άνθρακας. Αν τα προϊόντα της αντίδρασης καθόδου είναι ένα μέταλλο και ένα διαλυτό άλας αυτό μπορεί να βελτιώσει την αγωγιμότητα της καθόδου και τη διαδικασία της αποφόρτισης. Άλλοι βασικοί παράγοντες που λαμβάνουμε υπόψη μας για την επιλογή ενός υλικού καθόδου είναι το κόστος, η διαθεσιμότητα, η μη-τοξικότητα και η μη-αναφλεξιμότητα.

6.4 Ηλεκτρολύτες

Η αντιδραστικότητα του λιθίου σε υδατικά διαλύματα απαιτεί τη χρήση μη υδατικών ηλεκτρολυτών για τις μπαταρίες ανόδου λιθίου. Τα πολικά οργανικά υγρά είναι οι πιο κοινοί διαλυτοί ηλεκτρολύτες για τους συσσωρευτές λιθίου, εκτός από το θειονυλοχλωρίδιο (SOCl_2) και τις κυψέλες σουλφορυλοχλωριδίου (SO_2Cl_2), όπου αυτές οι ανόργανες ενώσεις χρησιμεύουν τόσο ως διαλύτες όσο και τα ενεργά υλικά καθόδου. Οι σημαντικότερες ιδιότητες του ηλεκτρολύτη είναι:

- Πρέπει να μην περιέχει άτομα υδρογόνου.
- Πρέπει να είναι χαμηλής αντιδραστικότητας με το λίθιο και στην κάθοδο.
- Πρέπει να είναι καλής ιοντικής αγωγιμότητας.
- Πρέπει να είναι χαμηλή η τάση ατμών, να έχει σταθερότητα, μη τοξικότητα και να μην είναι εύφλεκτος.

6.5 Είδη Συσσωρευτών Λιθίου

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες μπαταριών λιθίου με βάση τον τύπο του ηλεκτρολύτη. Οι βασικές κατηγορίες είναι οι διαλυτές και μη διαλυτές οι οποίες αναλύονται εκτενέστερα παρακάτω:

6.5.1 Διαλυτές

Σε αυτή την κατηγορία χρησιμοποιούν υλικά καθόδου όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ή το θειονυχλωρίδιο (SOCl_2), τα οποία διαλύονται στον ηλεκτρολύτη ή είναι τα ίδια διαλυτικά μέσα. Το διοξείδιο του άνθρακα δρα σαν ενεργό υλικό καθόδου διαλυμένο σε έναν οργανικό διαλυτό ηλεκτρολύτη ενώ το θειονυλοχλωρίδιο σαν ανόργανος διαλύτης ο οποίος χρησιμεύει τόσο ως δραστικό υλικό καθόδου όσο και ως διαλυτός ηλεκτρολύτης. Αυτά τα υλικά σχηματίζουν ένα παθητικό στρώμα προστατευτικής μεμβράνης των προϊόντων αντίδρασης επί την επιφάνεια του λιθίου, η οποία αναστέλλει την περαιτέρω αντίδραση. Παρόλο που το ενεργό υλικό καθόδου είναι σε επαφή με την άνοδο του λιθίου, η αυτοεκφόρτιση αναστέλλεται υπό την προστατευτική μεμβράνη, η οποία λειτουργεί σε πολύ χαμηλές τιμές και η διάρκεια

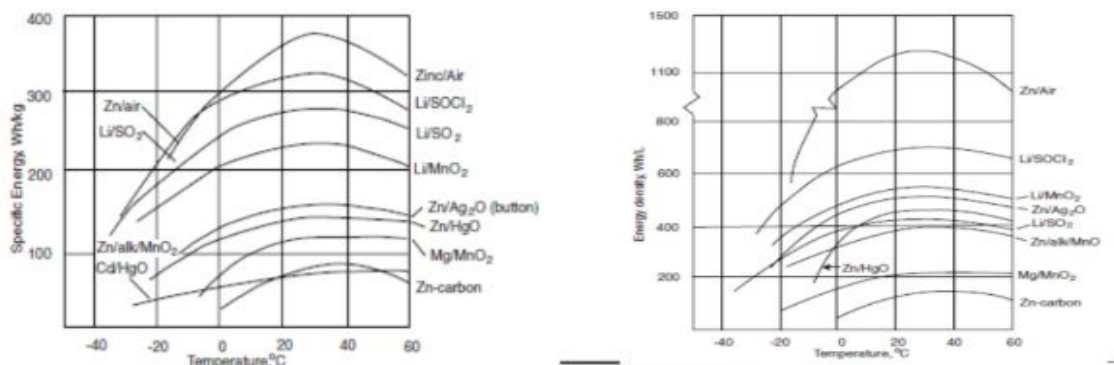
ζωής αυτών των μπαταριών είναι εξαιρετική. Μία παρενέργεια του προστατευτικού στρώματος στις επιφάνειες των ηλεκτροδίων είναι η τάση καθυστέρησης. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την απόδοση της μπαταρίας, τουλάχιστον προσωρινά. Όπως και με την κάθοδο αέρα στα στοιχεία ψευδαργύρου-αέρος η κάθοδος σε στοιχείο υγρής καθόδου είναι συνήθως κατασκευασμένη από πορώδες άνθρακα, όπως το μαύρο ακετυλένιο και ένα συνθετικό υλικό, π.χ το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή Teflon).

Τα στοιχεία λιθίου/διοξειδίου του θείου (Li/SO_2) θεωρείται η πιο προηγμένη από τους συσσωρευτές λιθίου. Στην παρακάτω εικόνα (6.1) παρουσιάζεται η διατομή της:



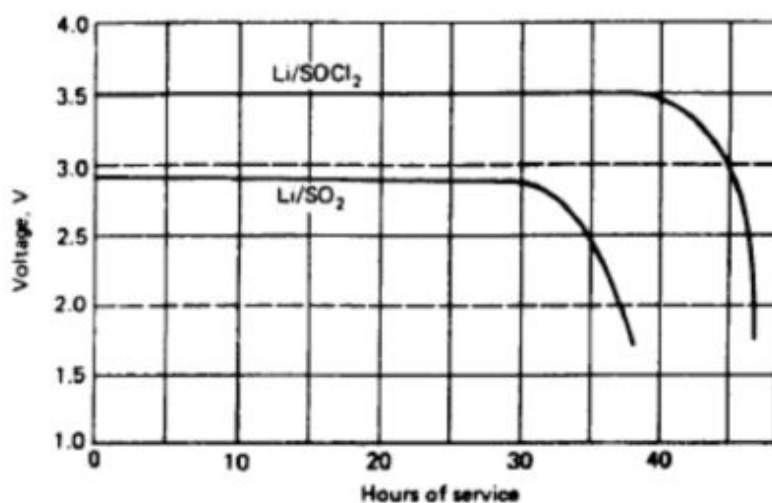
Εικόνα 6.1 Διατομή συσσωρευτή Li/SOCl_2 [20]

Η μπαταρία λιθίου / θειονυλοχλωριδίου (Li/SOCl_2) έχει μια από τις υψηλότερες ειδικές ενέργειες όλων των συστημάτων μπαταριών. Το διάγραμμα (6.2) απεικονίζει τα πλεονεκτήματα των μπαταριών Li/SOCl_2 σε ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασίας:



Εικόνα 6.2 Καμπύλες αποφόρτισης διαφόρων τύπων διαλυτών πρωτογενών συσσωρευτών λιθίου [21]

Τα παραπάνω διαγράμματα συγκρίνουν τη διαδικασία αποφόρτισης των μπαταριών Li/SOCl₂ και Li/SO₂. Στους 20° C, σε μέτρια επίπεδα αποφόρτισης, η μπαταρία Li/SOCl₂ έχει υψηλότερη τάση και περίπου 25% περισσότερη διάρκεια ζωής. Ενώ η μπαταρία Li/SO₂, έχει καλύτερη συμπεριφορά σε χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλά επίπεδα αποφόρτισης, τα οποία φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (6.3):



Εικόνα 6.3 Σύγκριση διαδικασίας αποφόρτισης μπαταριών Li/SO₂ και Li/SOCl₂ (100 mA discharge load at 20 °C) [20]

6.5.2 Μη Διαλυτές

Αυτό το είδος συσσωρευτή λιθίου χρησιμοποιεί στερεά αντί για διαλυτά αέρια ή υγρά υλικά καθόδου. Οι κυψέλες έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν είναι υπό πίεση και δεν απαιτούνται ερμητικά σφραγίσματα, αλλά δεν έχουν την ικανότητα επίτευξης υψηλής πυκνότητας ρεύματος. Έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές χαμηλής και

μεσαίας έντασης όπως για παράδειγμα ως εφεδρική μνήμη, σε συσκευές ασφάλειας καθώς και σε φορητές συσκευές φωτογραφικού υλικού. Κατασκευάζονται κυρίως σε κυλινδρικά ή επίπεδα σχήματα που κυμαίνονται σε χωρητικότητα από 30 mAh έως και 50mAh, ανάλογα με το συγκεκριμένο ηλεκτροχημικό σύστημα. Ο ρυθμός αποφόρτισής τους δεν είναι τόσο σταθερός όσο των διαλυτών συσσωρευτών, αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα αποφόρτισης και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μπορούν να επιτύχουν υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας από εκείνη των κυψελών διοξειδίου του λιθίου/θείου. Οι μεγαλύτερες μπαταρίες παράγονται σε κυλινδρικές και πρισματικές διαμορφώσεις. Οι μπαταρίες στερεάς καθόδου έχουν το πλεονέκτημα, σε σύγκριση με τις διαλυτής καθόδου να μην είναι υπό πίεση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην απαιτείται να είναι σφραγισμένες ερμητικά. Πολλά από τα χαρακτηριστικά είναι παρόμοια, όπως η υψηλή ειδική ενέργεια, η ενεργειακή πυκνότητα και η μεγάλη διάρκεια ζωής. Ορισμένα υλικά καθόδου έχουν χρησιμοποιηθεί σε σχήματα κερμάτων ή κουμπιών, ενώ άλλα, όπως το διοξείδιο του μαγγανίου, σε σχήματα κέρματος, πρισματικά ή κυλινδρικά. Αν και υπάρχουν αρκετά διαφορετικά είδη μπαταριών λιθίου στερεάς καθόδου, η πιο πρόσφατη τάση είναι η μείωσή τους. Οι μπαταρίες διοξειδίου του λιθίου/μαγγανίου (Li/MnO_2) ήταν από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν για εμπορικούς λόγους και εξακολουθούν να είναι πιο δημοφιλείς. Είναι σχετικά φθηνές, με υψηλή διάρκεια ζωής, υψηλό ρυθμό και αποδόση σε χαμηλή θερμοκρασία, σε σχήματα κερμάτων και κυλινδρικά.

Οι μονοφθορικές μπαταρίες λιθίου/άνθρακα ($\text{Li}\{\text{CF}\}_n$) είναι επίσης από τις πρώτες που χρησιμοποιήθηκαν και είναι ιδιαίτερα ελκυστικές λόγω της μεγάλης χωρητικότητας και των χαρακτηριστικών αποφόρτισης. Οι κυριότερες χρήσεις τους είναι στη βιοϊατρική, στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές όπου το κόστος δεν είναι σημαντικός παράγοντας.

Η φωσφορικού οξέος λιθίου/χαλκού ($\text{Li/Cu}_4\text{O}(\text{PO}_4)_2$) μπαταρία έχει σχεδιαστεί για υψηλές θερμοκρασίες και ειδικές εφαρμογές. Έχει μία υψηλή ειδική ενέργεια και μεγάλη διάρκεια ζωής κάτω από αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά δεν κατασκευάζονται πλέον.

Οι χρωμικές μπαταρίες λιθίου/ασημίου ($\text{Li/Ag}_2\text{CrO}_4$) εμφανίζουν υψηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, αλλά με μια διαδικασία αποφόρτισης δύο σταδίων.

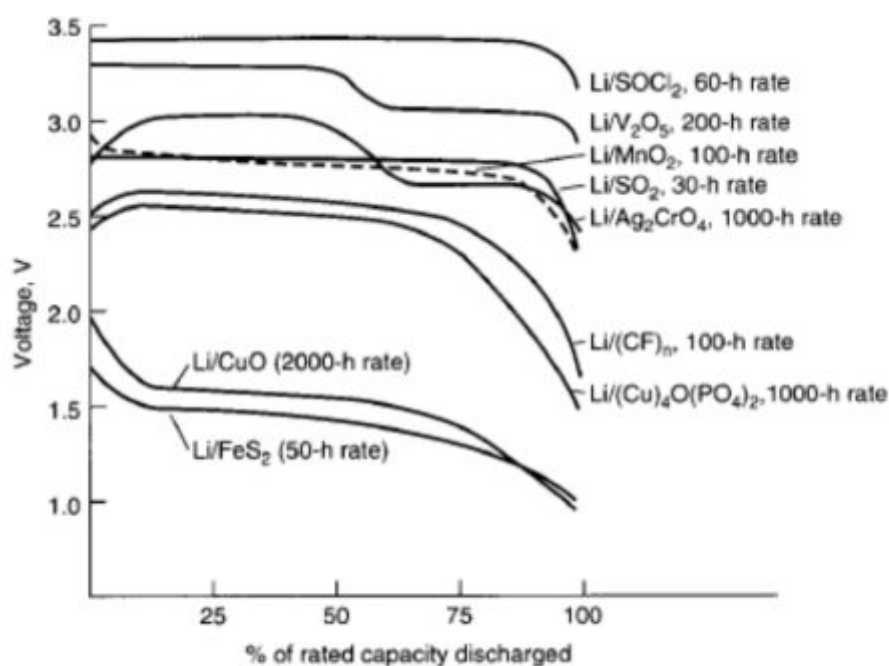
Οι μπαταρίες οξειδίου του λιθίου/πεντοξειδίου του βαναδίου ($\text{Li/V}_2\text{O}_5$) έχουν υψηλή ογκομετρική ενεργειακή πυκνότητα, αλλά με μια διαδικασία αποφόρτισης δύο σταδίων.

Οι μπαταρίες οξειδίου του λιθίου/αργύρου βαναδίου ($\text{Li/AgV}_2\text{O}_5$) χρησιμοποιούνται για ιατρικές εφαρμογές που έχουν απαιτήσεις υψηλού φορτίου.

Οι άλλες μπαταρίες λιθίου στερεάς καθόδου λειτουργούν στην ζώνη των 1,5V και αναπτύχθηκαν για αντικαταστήσουν τις συμβατικές σχήματος κουμπιού 1,5V ή τις κυλινδρικές.

Οι μπαταρίες οξειδίου του λιθίου /χαλκού (Li/CuO) είναι γνωστές για την υψηλή πυκνότητα ενέργειας και έχουν το πλεονέκτημα της μεγαλύτερης χωρητικότητας και μικρότερου βάρους σε σύγκριση με τις συμβατικές κυλινδρικές μπαταρίες. Έχουν υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλη διάρκεια ζωής κάτω από αντίξοες συνθήκες.

Οι μπαταρίες διθειούχου σιδήρου (Li/FeS_2) έχουν παρόμοια πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών μπαταριών, συν το πλεονέκτημα της απόδοσης υψηλής συχνότητας. Στο παρακάτω διάγραμμα (6.4) παρουσιάζονται οι τυπικές καμπύλες αποφόρτισης των κυριότερων μπαταριών λιθίου στερεών υλικών καθόδου.



Εικόνα 6.4 Τυπικές καμπύλες αποφόρτισης πρωτογενών συσσωρευτών λιθίου με στερεά υλικά καθόδου [21]

6.6 Συσσωρευτές Ιόντων Λιθίου(Li-On)

6.6.1 Εισαγωγή

Η τεχνολογία μπαταριών ιόντων λιθίου (Lithium - ion battery ή LIB) είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη στο χώρο των μπαταριών τα τελευταία χρόνια. Μετά την τεράστια επιτυχία και επικράτησή τους στο χώρο των φορητών συσκευών, όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και τα laptops, τα τελευταία χρόνια πραγματοποιήθηκε η μετάβαση τους από μικρά στοιχεία στις μπαταρίες μεγάλου μεγέθους με σκοπό την χρήση τους σε ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Οι μπαταρίες ιόντων λιθίου προσφέρουν μια από τις μεγαλύτερες πυκνότητες ενέργειας, μηδενική σχεδόν εφέ μνήμης (memory effect) και μόνο μια αργή απώλεια φορτίου (loss of charge), όταν δεν είναι σε χρήση. Η αγορά των συσσωρευτών ιόντων λιθίου, σημείωσε αλματώδη ανάπτυξη ξεπερνώντας το έτος 2006, το ένα δισεκατομμύριο πωλήσεις. Εκτός από τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, οι μπαταρίες ιόντων λιθίου έχουν επίσης αυξανόμενη χρήση στις στρατιωτικές εφαρμογές, στα ηλεκτρικά οχήματα και αεροδιαστημική.

6.6.2 Χαρακτηριστικά Μπαταριών Ιόντων Λιθίου

Όπως αναφεραμε και στην εισαγωγή οι συσσωρευτές ιόντων λιθίου αποτελούν μια τεχνολογία μπαταριών η οποία έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη με το πέρασμα των ετών. Παρακάτω παραθέτουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά αυτής της τεχνολογίας τα οποία είναι :

- Αριστη απόδοση

Η μεγάλη επιτυχία που γνώρισαν οι μπαταρίες λιθίου στις φορητές εφαρμογές, οφείλεται κυρίως στην πολύ καλή απόδοσή τους. Οι μπαταρίες λιθίου έχουν πολύ μικρότερο μέγεθος, έχουν μεγαλύτερη απόδοση καθώς επίσης είναι και πιο ελαφριές από τις μπαταρίες μολύβδου οξέος και τις μπαταρίες καδμίου.

- Υψηλή ενεργειακή πυκνότητα

Η υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, οφείλεται κυρίως στην τάση λειτουργίας των περισσότερων ηλεκτροχημικών ζευγών με βάση το λίθιο. Το λίθιο, έχοντας το μεγαλύτερο δυναμικό από τα μέταλλα ηλεκτροχημικής σειράς (electromotive series), παρέχει μια τάση λειτουργίας περίπου διπλάσια από αυτή των παραδοσιακών συστημάτων.

- Ανώτερη απόδοση σε χαμηλές θερμοκρασίες

Εξαιτίας της μη υδάτινης φύσης των ηλεκτρολυτών που χρησιμοποιούνται στα συστήματα λιθίου, η αγωγιμότητα αυτών των συστημάτων σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι πολύ καλύτερη από αυτή των συστημάτων αποθήκευσης που προϋπήρχαν.

- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής υπό μηδενικό φορτίο(<ραφιού>)

Ερμητικά κλειστά στοιχεία, που έχουν κατασκευαστεί από συστήματα που δεν παράγουν αέρια κατά την αποφόρτιση, προστατεύουν το στοιχείο από προσμίξεις και από το εξωτερικό περιβάλλον, καθώς και προλαμβάνουν την διαρροή του ηλεκτρολύτη από το στοιχείο. Αυτό το γεγονός δίνει την δυνατότητα να μείνει η μπαταρία στο ράφι για πέντε με δέκα χρόνια χωρίς να χρειάζεται κάποιο ειδικό περιβάλλον αποθήκευσης.

- Καλύτερη συμπεριφορά επαναφόρτισης

Οι μπαταρίες λιθίου απαιτούν φόρτιση σταθερής τάσης / σταθερού ρεύματος (CC/CV) και η συμπεριφορά επαναφόρτισής τους είναι πολύ καλή. Δεν επηρεάζει ο τρόπος επαναφόρτισης τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας.

- Χωρητικότητα

Στις μπαταρίες ιόντων λιθίου, η διαθέσιμη χωρητικότητα δεν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ρυθμό αποφόρτισης

- Εφέ μνήμης - Ανεπαρκής φόρτιση

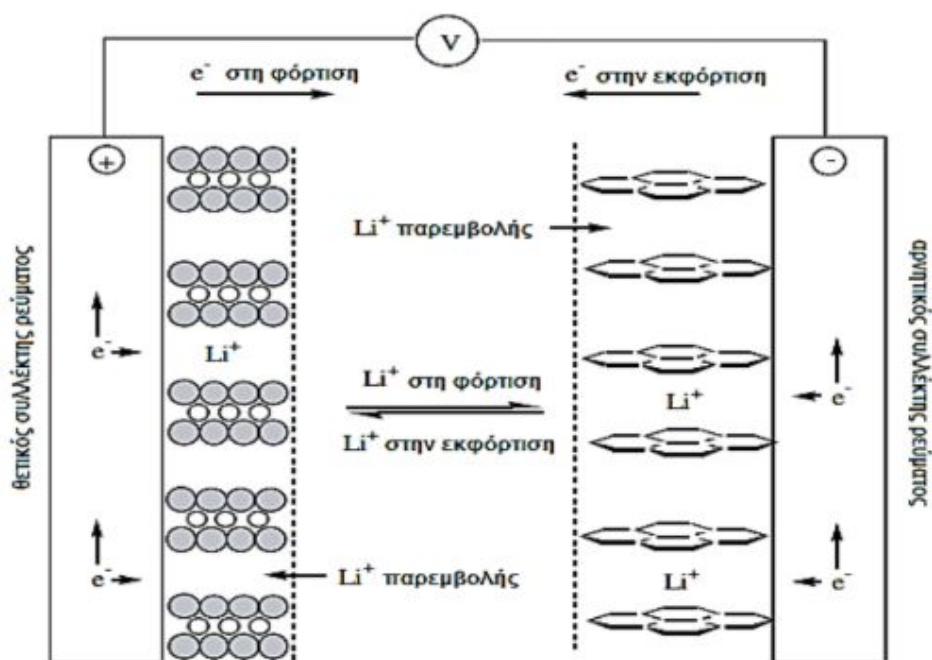
Δεν εμφανίζεται το εφέ μνήμης (memory effect). Μπορούν να αποθηκεύονται ή να χρησιμοποιούνται σε οποιαδήποτε στάθμη φόρτισης και μπορούν να επαναφορτίζονται όποτε χρειάζεται.

- Δεν υφίσταται αεριοποίηση

Τα στοιχεία ιόντων λιθίου είναι σφραγισμένα και δεν υπάρχει αεριοποίηση, επομένως δεν υπάρχει κίνδυνος εκρήξεων.

6.6.3 Χημική Διαδικασία

Η λειτουργία της επαναφορτιζόμενης μπαταρία ιόντων λιθίου, βασίζεται στη μετακίνηση ιόντων λιθίου (εικόνα 6.5), μεταξύ της καθόδου και της ανόδου και ως εκ τούτου είναι ουσιώδης η διαφορά τους με μπαταρίες μολύβδου - οξέος και νικελίου-καδμίου, στις οποίες η βασική μορφή των υλικών καθόδου και ανόδου παραμένει αμετάβλητη. Τα ενεργά υλικά των ηλεκτροδίων ενός συσσωρευτή ιόντων λιθίου είναι μεταλλικό οξειδίο λιθίου για το θετικό ηλεκτρόδιο και ενώσεις γραφίτη (άνθρακα) για το αρνητικό ηλεκτρόδιο. Τα υλικά είναι συνδεδεμένα με ένα μεταλλικό φύλλο συλλογής ρεύματος με συνδετικό υλικό και με ένα αγώγιμο αραιωτικό, συνήθως μαύρο άνθρακα η γραφίτη μεγάλης επιφάνειας. Τα ηλεκτρόδια μονώνονται ηλεκτρικά με τη βοήθεια μικροπορώδους πολυαιθλενικού ή πολυπροπυλενικού διαχωριστικού φύλλου, το οποίο περιέχει υγρό ηλεκτρολύτη και ένα στρώμα πολυμερών σε μορφή gel ή ένα στρώμα στερεού ηλεκτρολύτη, ανάλογα με τον τύπο συσσωρευτή.

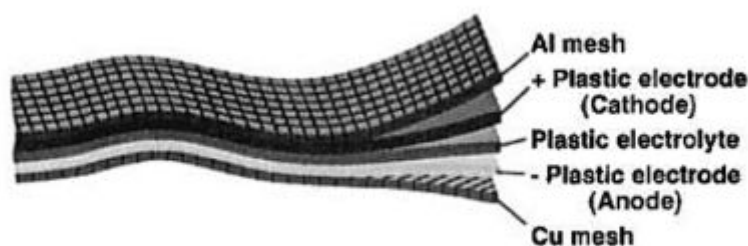


Εικόνα 6.5 Σχηματική απεικόνιση της ηλεκτροχημικής διεργασίας που λαμβάνει χώρα σε ένα στοιχείο ιόντων λιθίου [20]

6.7 Μπαταρίες Ιόντων Λιθίου Πολυμερών

(Polymer Li-ion Batteries-LiPO)

Οι μπαταρίες LiPO προσφέρουν χαρακτηριστικά όπως η υψηλή ειδική ενέργεια και υψηλή πυκνότητα ενέργειας, σε ένα σχήμα μικρού πάχους με μεγάλο συντελεστή επιφάνειας. Οι κυψέλες LiPO χρησιμοποιούν τα ίδια ενεργά στοιχεία όπως τα κυλινδρικά ή πρισματικά στοιχεία Li-ion. Ωστόσο, στα στοιχεία LiPO χρησιμοποιούνται επίπεδα, συνδεδεμένα μεταξύ τους ηλεκτρόδια, έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παραγωγή λεπτών στοιχείων τα οποία είναι συσκευασμένα μέσα σε ταινία, εν αντιθέσει με τις μεταλλικές ή αλουμινένιες θήκες στοιχείων που χρησιμοποιούνται στις μπαταρίες Li-ion. Αυτός ο τύπος κατασκευής φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 6.6):



Εικόνα 6.6 Σχηματική απεικόνιση μπαταριών ιόντων λιθίου πολυμερούς [20]

Μια ιδιαίτερα ελκυστική ιδιότητα των μπαταριών LiPO είναι η ικανότητά τους να αντέχουν την φυσική καταπόνηση. Επίσης οι συγκεκριμένες μπαταρίες σύμφωνα με τους κατασκευαστές τους μπορούν να υποστούν μηχανικό τρύπημα ,ενω ειναι πλήρως φορτισμένες ή ακόμα και υπερφορτισμένες, χωρίς να εκδηλώσουν φωτιά ή έκρηξη.

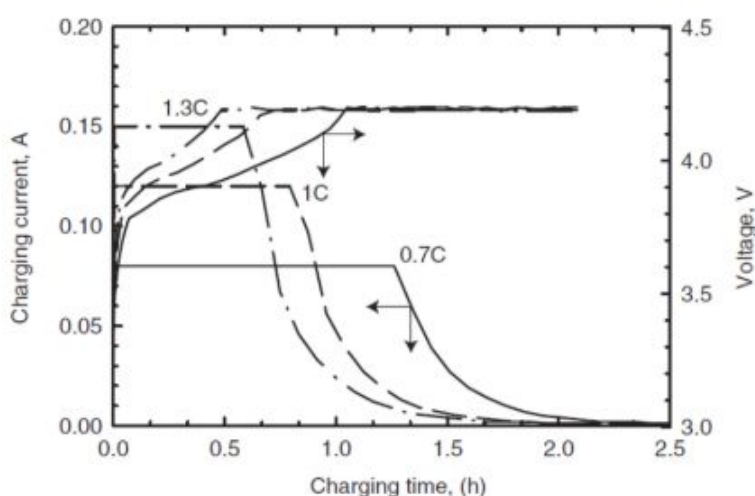
6.7.1 Πυκνότητα Ενέργειας των Μπαταριών LiPO

Οι μπαταρίες LiPO μπορούν να φτάσουν υψηλές τιμές ειδικής ενέργειας και πυκνότητας ενέργειας, οι οποίες μάλιστα είναι υψηλότερες από αυτές των μπαταριών Li-ion υγρού ηλεκτρολύτη. Εφόσον η ηλεκτροχημεία, όπως επίσης η ποσότητα βάρους των διαφόρων συστατικών σε αυτές τις δύο τεχνολογίες (Li-ion

υγρού ηλεκτρολύτη και LiPO) είναι παρόμοιες, η διαφορά που παρουσιάζεται έγκειται στα ελαφρύτερα και στα λεπτότερα υλικά συσκευασίας, τα οποία χρησιμοποιούνται σε επίπεδες (flat) μπαταρίες συνδεδεμένων ηλεκτροδίων (bonded electrodes), άρα και στην πιο αποδοτική χωρική εκμετάλλευση.

6.7.2 Χαρακτηριστικά Φόρτισης Μπαταριών LiPO

Οι μπαταρίες LiPO, όπως οι κυλινδρικές ή πρισματικές μπαταρίες Li-ion, μπορούν να φορτιστούν είτε με σύστημα σταθερού ρεύματος (CC), είτε με σύστημα σταθερού ρεύματος - σταθερής τάσης (CCCV). Το ρεύμα φόρτισης και η τάση της μπαταρίας κατά τη διάρκεια της φόρτισης μιας μπαταρίας LiPO 0.120 Ah,C/LiCoO₂ φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα για ρεύμα φόρτισης 1,3C, 1C και 0,7C. Σε κάθε περίπτωση, η μπαταρία φορτίζεται με σταθερό ρεύμα μέχρι να φτάσει το όριο των 4,2V. Από την στιγμή εκείνη και έπειτα, το ρεύμα μειώνεται συνεχώς έτσι ώστε να διατηρείται η τάση στα 4,2 V. Με ρυθμό φόρτισης στο 1C, το 40% των δύο ωρών φόρτισης ήταν υπό σύστημα σταθερού ρεύματος (εικόνα 6.7).

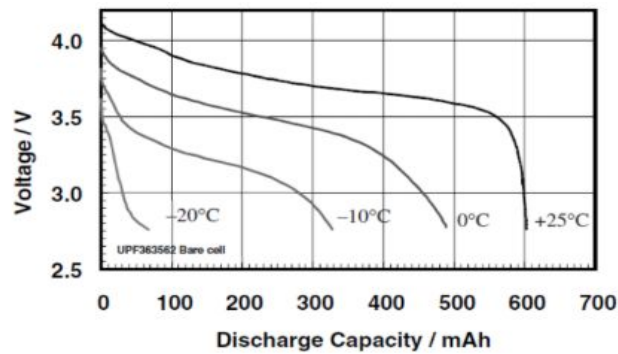


Εικόνα 6.7 Διαδικασία φόρτισης μπαταριών τύπου LiPO [21]

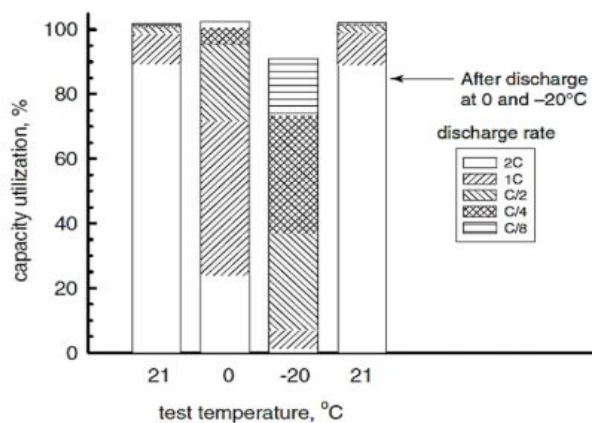
6.7.3 Δυνατότητες Μπαταριών LiPO ανάλογα με το Ρεύμα Αποφόρτισης

Οι δυνατότητες μια μπαταρίας LiPO C/LiCoO₂ σε βαθμούς αποφόρτισης από 3C έως 2C φαίνεται στα παρακάτω διαγράμματα. Όπως φαίνεται, η μπαταρία αποδίδει πάνω από το 95% της χωρητικότητας της σε βαθμό 1C, 87% στα 2C και 77% στα

3C. Σε χαμηλούς βαθμούς αποφόρτισης, η μπαταρία απέδωσε μια μέση τάση 3,8V στα 1 C , 3,55V στα 2C και 3,45V στα 3C (εικόνα 6.8). Η μπαταρία απέδωσε πάνω από το 80% της διαθέσιμης ενέργειάς της στα 2C (εικόνα 6.9).



Εικόνα 6.8 Τάση μπαταρίας LiPO 0,57Ah κατά την αποφόρτιση με 0,57 A. Η μπαταρία είχε φορτιστεί με CCCV στα 0,57A/4,2 V [21]



Εικόνα 6.9 Απόδοση χωρητικότητας κατά την αποφόρτιση μπαταρίας LiPO/LiCoO₂. Η μπαταρία είχε φορτιστεί στους 21 °C [21]

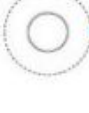
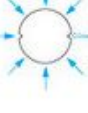
7. IP Κλίμακα

7.1 Εισαγωγή

Πολλές φορές κατά την ανάγνωση των χαρακτηριστικών ενός προϊόντος, θα παρατηρήσουμε ένα συγκεκριμένο κωδικό ο οποίος συμβολίζεται ως IP. Αυτός ο δείκτης οριοθετεί τις αντοχές μίας συσκευής σχετικά με την αντοχή του στο νερό και την σκόνη, ο οποίος πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για εξωτερική χρήση σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Ο κωδικός IP, ή αλλιώς βαθμός στεγανότητας αποτελεί ένα διεθνές πρότυπο της IEC (International Electrotechnical Commission) που ταξινομεί κάθε ηλεκτρική συσκευή ως προς τον βαθμό προστασίας την απέναντι στο νερό και τη σκόνη και το βαθμό προστασίας του χειριστή από την επαφή με ηλεκτροφόρα ή κινούμενα μέρη της συσκευής.

7.2 Βαθμός Στεγανότητας IP

Ο δείκτης στεγανότητας αποτελείται από δύο ψηφία (π.χ. IP67). Το πρώτο ψηφίο (6), υποδηλώνει τη προστασία έναντι διείσδυσης στερεών σωματιδίων, όπως σκόνη, και μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0 έως 6, ενώ το δεύτερο νούμερο υποδηλώνει την προστασία μιας συσκευής από τη διείσδυση νερού και μπορεί να είναι από 0 έως 9. Πιο συγκεκριμένα, μια συσκευή που ενσωματώνει βαθμό στεγανότητας IP33, διαθέτει προστασία από εισχώρηση μεσαίων σωμάτων διαμέτρου 2.5mm και προστασία από σταγόνες υγρού με γωνία πτώσης έως και 60 μοίρες. Ωστόσο, πολλές σύγχρονες συσκευές όπως κάμερες ασφαλείας και κινητά τηλέφωνα, χαρακτηρίζονται από δείκτη στεγανότητας IP67 ακόμα και IP68. Αυτό σημαίνει ότι οι συγκεκριμένες συσκευές μπορούν να αντέξουν ακόμα και κάτω από νερό για ένα συγκεκριμένο διάστημα. Επιπλέον, σε ορισμένες συσκευές υπάρχουν συμβολισμοί όπως F/H/S/M/W οι οποίοι δηλώνουν την αντοχή του προϊόντος σε λάδι, υψηλή τάση, αντοχή σε αντίξοες καιρικές συνθήκες και πολλά άλλα. Παρακάτω παραθέτουμε έναν πίνακα (εικόνα 7.1) στον οποίο φαίνεται αναλυτικά η προστασία που μπορεί να φέρει κάθε δείκτης ξεχωριστά:

1ο Ψηφίο Προστασία από την επαφή με το ανθρώπινο σώμα	Προστασία από την είσοδο ξένων σωμάτων	2ο Ψηφίο Προστασία από την είσοδο νερού
0 Καμία προστασία.	Καμία προστασία.	0 Καμία προστασία.
1 Αποκλείεται η επαφή με το σώμα αλλά χωρούν τα δάκτυλα. 	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 50mm. 	1 Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν κατακόρυφα. 
2 Αποκλείεται η επαφή με το δάκτυλο. 	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 12mm. 	2 Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν με κλίση μέχρι 15 μοίρες ως προς την κατακόρυφο. 
3 Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων με διάσταση πάνω από 2,5mm. 	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 2,5mm. 	3 Δεν μπαίνουν σταγόνες που πέφτουν με κλίση μέχρι 60 μοίρες ως προς την κατακόρυφο. 
4 Αποκλείεται επαφή μέσω εργαλείων ανω του 1mm. 	Δεν μπαίνουν αντικείμενα πάνω από 1mm. 	4 Δεν μπαίνει νερό που ψεκάζεται από όλες τις κατευθύνσεις. 
5 Αποκλείεται παντελώς η επαφή. 	Δεν μπαίνει τόσο σκόνη όσο να επικαθίσει στο εσωτερικό. 	5 Δεν μπαίνει νερό που πέφτει υπό μορφή δέσμης απ' όλες τις κατευθύνσεις. 
6 Αποκλείεται η επαφή. 	Δεν μπαίνει καθόλου σκόνη. 	6 Δεν μπαίνει νερό από παροδική πλημμύρα. 
		7 Δεν μπαίνει νερό σε παροδικό εμβατισμό υπό δοσμένη πίεση και χρόνο. 
		8 Δεν μπαίνει νερό σε μόνιμο εμβατισμό υπό δοσμένη πίεση. 

Εικόνα 7.1 Κλίμακα IP [22]

Πειραματική Διάταξη

1. Σκοπός

Σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή μιας ασύρματης διάταξης μετρήσεων μεγάλης εμβέλειας, βασισμένη στο πρωτόκολλο LoRa, με σκοπό την παρακολούθηση ορισμένων συγκεκριμένων συνθηκών του καιρού και του εδάφους. Ο κόμβος αισθητήρων είναι εγκατεστημένος στην περίπτωση του πειράματος μέσα σε αγροτεμάχιο, σε καθορισμένο σημείο και με τη βοήθεια μιας συσκευής ανάγνωσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να γνωρίζει τις συνθήκες που επικρατούν στην έκταση απομακρυσμένα. Επίσης, η συσκευή καθιστά ορατά τα δεδομένα και μέσω δικτύου WiFi, έτσι ώστε να μπορούν να ελέγχονται από κεντρικό σημείο διαχείρισης εφόσον οι κόμβοι είναι εντός εμβέλειας. Η εμβέλεια μπορεί να φτάσει μέχρι και 2 χιλιόμετρα, εφόσον δεν υπάρχουν ογκώδη φυσικά ή τεχνητά εμπόδια στη μεταξύ τους απόσταση. Είναι αρκετά πρακτικό και χρήσιμο να μη χάνεται χρόνος και ενέργεια από την πλευρά του χρήστη επιθεωρώντας κάθε έκταση, είτε διαισθητικά, είτε με αισθητήρες χειρός.

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετεωρολογικούς σκοπούς, για την παρακολούθηση των συνθηκών σε μία καλλιέργεια, ένα πάρκο ακόμα και έναν κήπο. Με τη χρήση του συστήματος αυτού σε μία καλλιέργεια, όπως στο πείραμα που ακολουθεί, μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη εξοικονόμηση νερού, αλλά και να γίνει η αγροτική εργασία πιο εύκολη και παραγωγική. Φυσικά, ο κόμβος αισθητήρων που θα αναλυθεί στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας αποτελεί μόνο ένα στοιχείο από ένα δίκτυο με κόμβους αισθητήρων οι οποίοι τοποθετούνται σε αγροτεμάχια και συνδέονται μεταξύ τους για να υπάρχει μεγαλύτερη κάλυψη και ακρίβεια.

2. Διάταξη

Η διάταξη μετήσεων αποτελείται από δύο συσκευές, τη συσκευή καταγραφής ή αλλιώς κόμβο αισθητήρων, και τη συσκευή ανάγνωσης. Σε κάθε συσκευή ανάγνωσης υπάρχει δυνατότητα να συνδεθούν παραπάνω από ένας κόμβοι αισθητήρων και να ελέγχονται όλοι μαζί από αυτή. Οι συσκευές μεταξύ τους συνδέονται ασύρματα μέσω δικτύου LoRa και οι μετρήσεις λαμβάνονται μόνο τις χρονικές στιγμές που επιλέγει ο χρήστης, πατώντας ένα κουμπί στη συσκευή ανάγνωσης. Η συσκευή καταγραφής θα λειτουργεί με φωτοβολταϊκό πάνελ, το οποίο θα αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε μπαταρία. Η συσκευή ανάγνωσης θα λειτουργεί παράλληλα με μπαταρία και με εξωτερική τροφοδοσία.

Τα κριτήρια επιλογής τόσο των αισθητήρων και των υπόλοιπων μερών του συστήματος, τόσο ως προς τα μετρούμενα μεγέθη όσο και ως προς την ποιότητά τους κινούνται σε τρεις άξονες. Αρχικά, το σύστημα αυτό πρέπει να έχει μία ικανοποιητική ακρίβεια μετρήσεων, αξιοπιστία και αντοχή. Στη συνέχεια, θα πρέπει η υλοποίηση να είναι φιλική (user friendly) ως προς το μέσο χρήστη του κοινού που απευθύνεται, άρα πρέπει να συνάδει με τις ανάγκες, τα χαρακτηριστικά και τις δεξιότητες του μέσου χρήστη. Τέλος, ο συνδυασμός των παραπάνω χαρακτηριστικών θα πρέπει να είναι τόσο οικονομικός, ώστε να είναι εφικτό να αγοραστεί από το μέσο αγρότη, χωρίς όμως να θυσιαστεί η απαιτούμενη ακρίβεια που απαιτείται για να είναι χρήσιμο και διαχειρίσιμο το αποτέλεσμα της μέτρησης.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι δύο συσκευές ως προς τα χαρακτηριστικά (features) , τα μέρη υλικών που διαθέτουν (hardware components), τον προγραμματισμό τους (code), αλλά και τη διαδικασία εγκατάστασης, χρήσης και συντήρησης.

2.1 Συσκευή Καταγραφής

1. Αισθητήρες:

Η συσκευή καταγραφής, ή αλλιώς κόμβος αισθητήρων λαμβάνει τις εξής παραμέτρους:

- Υγρασία Εδάφους (soil moisture)
- Θερμοκρασία Αέρα (air temperature)
- Υγρασία Αέρα (air humidity)

Όπως έχει αναφερθεί, ο σκοπός της διάταξης αυτής είναι να λαμβάνει μετρήσεις που χρησιμεύουν στην εξοικονόμηση νερού και στη διαδικασία πρόληψης βασικών ασθενειών και μυκήτων σε μία καλλιέργεια. Έτσι, οι παραπάνω παράμετροι έχουν επιλεγεί με βάση τις ανάγκες αυτές και είναι αρκετές για τη συμβολή στη λήψη αποδοτικότερων αποφάσεων, τόσο για την άρδευση όσο και για την φυτοπροστασία, κρατώντας ταυτόχρονα το κόστος σε χαμηλά επίπεδα.

Έτσι, οι αισθητήρες που επιλέγονται για την υλοποίηση είναι οι εξής:

- Για τη μέτρηση της εδαφικής υγρασίας, ο ωμικός αισθητήρας μέτρησης υγρασίας εδάφους (Soil Moisture Sensor) της εταιρείας Sparkfun, ο οποίος είναι αρκετά οικονομικός (~ 10 €) και με εύκολο και αξιόπιστο τρόπο βαθμονόμησης για τα δεδομένα που επεξεργαζόμαστε.
- Για τη μέτρηση της υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα, ο αισθητήρας είναι κοινός και είναι ο Αισθητήρας Θερμοκρασίας & Υγρασίας - Si7021, της εταιρείας Adafruit. Το σφάλμα του είναι αποδεκτό τόσο για τη μέτρηση της υγρασίας, όσο και της θερμοκρασίας αέρα. (σφάλμα 3% στην υγρασία και 0.4 °C στην θερμοκρασία) και το κόστος του είναι αρκετά χαμηλό (~ 10 €).

2. Μικροελεγκτής (Microcontroller):

Για την υλοποίηση της διάταξης, επιλέγεται ο μικροελεγκτή Feather 32u4 LoRa Radio (RFM9x) της εταιρείας Adafruit. Η επιλογή έγινε με βάση την βέλτιστη κάλυψη των αναγκών της διάταξης, όσο και την ελαχιστοποίηση των πολλών ξεχωριστών μερών, άρα και του κόστους. Είναι η πιο ολοκληρωμένη επιλογή, ως προς τη διαχείριση και κατανάλωση ενέργειας, έχει επαρκή μνήμη και βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Arduino IDE, πράγμα που σημαίνει ότι υπάρχουν αρκετές διαθέσιμες βιβλιοθήκες για τις λειτουργίες που απαιτεί η διάταξη. Επίσης, έχει ενσωματωμένο τον πομποδέκτη LoRa.

3. Πηγή Ενέργειας:

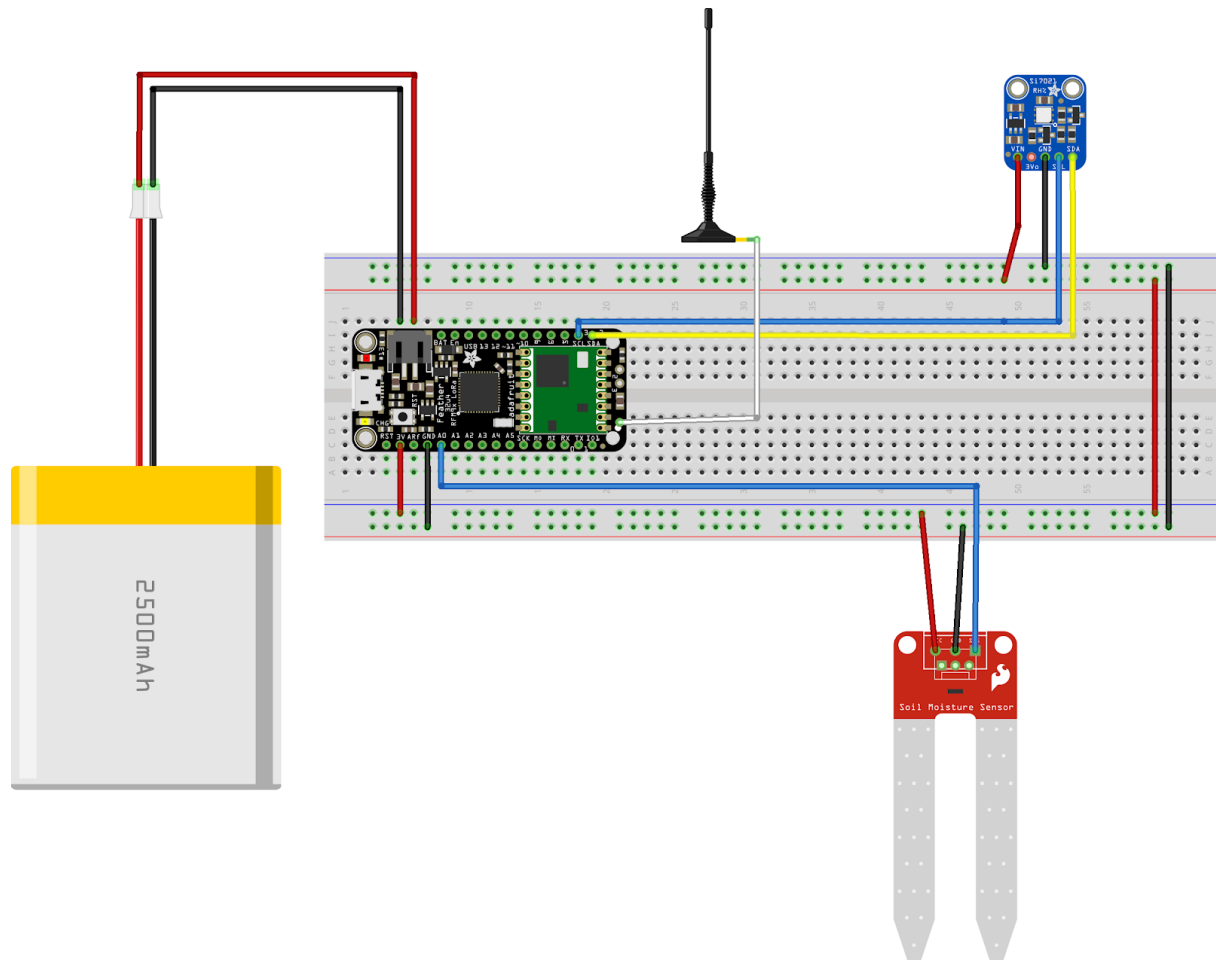
- Μπαταρία: Επιλέγεται μπαταρία τεχνολογίας LiPo, διότι αυτός ο τύπος υποστηρίζεται απευθείας από το κύκλωμα του μικροελεγκτή και δεν θα χρειαστεί καμία τροποποίηση στη συνδεσμολογία. Επίσης, η χωρητικότητα που θα χρησιμοποιηθεί είναι 4.000 mAh, για να καλυφθεί και η πιθανότητα εκτεταμένης νεφοκάλυψης για μεγάλο χρονικό διάστημα και να εξασφαλιστεί η αδιάκοπη λειτουργία της διάταξης.
- Φωτοβολταϊκό πάνελ: Επιλέγεται Φωτοβολταϊκή Κυψέλη 1W 125x63mm, διότι είναι στις κατάλληλες διαστάσεις για την υλοποίηση της διάταξης, είναι εντός του διαστήματος τάσης λειτουργίας του μικροελεγκτή και ο ρυθμός φόρτισης είναι αποδεκτός. Επίσης, η κυψέλη αυτή, είναι επαρκής ώστε να φορτίζει την μπαταρία με τέτοιο ρυθμό, ώστε να μην αποφορτιστεί ποτέ τελείως η μπαταρία.

4. Κουτί Κατασκευής & Στήριξη

Είναι πολύ σημαντικό το κουτί που περικλείει τη διάταξη να είναι αδιάβροχο, καθώς το σύστημα θα βρίσκεται εκτεθειμένο σε όλες τις καιρικές συνθήκες. Για αυτό το λόγο, θα επιλέξουμε προϊόν κλίμακας IP67. Στο κουτί αυτό, θα τοποθετηθεί, ο μικροελεγκτής, μαζί με τον αισθητήρα υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα. Έτσι, θα πρέπει να προσαρμοστεί ώστε να επιτρέπει στον αέρα να εισέρχεται σε αυτό, χωρίς όμως να χάνεται η ιδιότητα της αδιαβροχοποίησης της διάταξης. Αυτό, πραγματοποιείται με την δημιουργία μίας τομής στο καπάκι του κουτιού, η οποία καλύπτεται με μία περσίδα εξωτερικού χώρου τοποθετημένη με σιλικόνη αδιαβροχοποίησης.

Ως προς τη στήριξη της διάταξης, θα χρησιμοποιηθεί ορθογώνιος σωλήνας PVC, διότι είναι εύκολη η προσαρμογή του στο κουτί, παρέχει επαρκή στήριξη και στο εσωτερικό του θα τοποθετηθεί το καλώδιο του αισθητήρα υγρασίας εδάφους, ο οποίος τοποθετείται υπόγεια. Έτσι, θα παρέχει και τη μηχανική αντοχή του καλωδίου, που είναι σημαντική για την λειτουργικότητα του συστήματος.

5. Συνδεσμολογία



Εικόνα Π1 Συνδεσμολογία συσκευής καταγραφής

2.2 Συσκευή Ανάγνωσης

Η συσκευή ανάγνωσης αποτελείται από μικροελεγκτή, οθόνη και κουμπιά χειρισμού. Ο ρόλος της συσκευής στη συνολική διάταξη, είναι να συγκεντρώνει απομακρυσμένα τις μετρήσεις από τους αισθητήρες και να τους παρουσιάζει εύκολα και κατανοητά στον χρήστη. Η συσκευή αυτή, μόλις βρίσκεται εντός εμβέλειας της

διάταξης των αισθητήρων, θα είναι έτοιμη να συγκεντρώσει τις μετρήσεις με το πάτημα ενός κουμπιού. Επίσης, θα είναι επαναφορτιζόμενη, έτσι ώστε να είναι εύχρηστη και να μεταφέρεται εύκολα.

1. Μικροελεγκτές (Microcontrollers):

Για την υλοποίηση της συσκευής, επιλέγονται, πάλι ο μικροελεγκτή Feather 32u4 LoRa Radio (RFM9x) της εταιρείας Adafruit καθώς και ο Feather HUZZAH ESP8266 της ίδιας εταιρείας. Η επιλογή έγινε με βάση την κάλυψη των αναγκών της συσκευής σε επεξεργαστική ισχύς, μνήμη και διαθέσιμες ψηφιακές και αναλογικές θύρες. Επίσης, επιλέγοντας ίδιο ακριβώς μικροελεγκτή με τη μετρητική διάταξη, επιτυγχάνεται πλήρης συμβατότητα στην επικοινωνία των συσκευών. Οι δύο μικροελεγκτές συνδέονται μεταξύ τους με το πρωτόκολλο I2C και ο δεύτερος χρησιμοποιείται για να καταστήσει ορατά τα δεδομένα μέσω του δικτύου WiFi.

2. Εμφάνιση Αποτελεσμάτων

Για την εμφάνιση των μετρήσεων, επιλέγεται ένας συνδυασμός οθόνης LCD Screen 16x2 και ενός πλήκτρου επιλογής για την πλοήγηση και στην συλλογή των μετρήσεων. Η οθόνη αυτή επιλέχθηκε με κριτήριο την αναλογία τιμής / δυνατοτήτων που παρέχει στη διάταξη. Έτσι, επιλέγοντας τη συγκεκριμένη οθόνη, διατηρείται η υλοποίηση του συστήματος απλή και χρηστική. Οι μετρήσεις εμφανίζονται με τη μορφή χαρακτήρων και αριθμών, οπότε δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί πιο σύνθετη οθόνη (πχ OLED, ή γραφικών κλπ). Τέλος, η τιμή της είναι αποδεκτή, με βάση τις απαιτήσεις του συστήματος (~8 €).

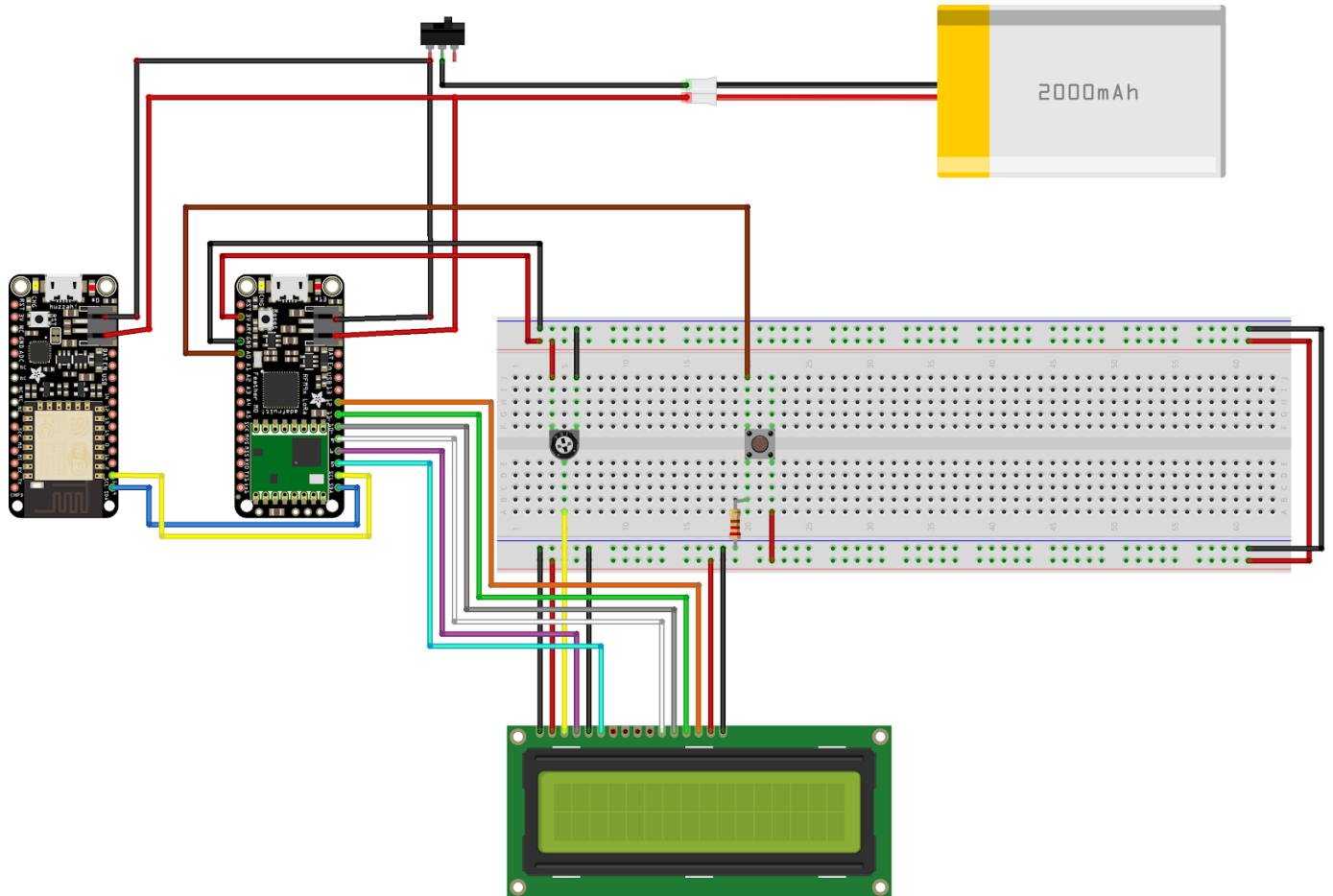
3. Πηγή Ενέργειας:

Η συσκευή θα δουλεύει με τη χρήση μπαταρίας LiPo, χωρητικότητας 1200 mAh και τάσης 3.7 V. Αυτή η χωρητικότητα επιλέγεται με βάση τις ανάγκες της συσκευής σε ενέργεια, καθώς και τη χρήση αυτής. Η συσκευή, επίσης, θα είναι επαναφορτιζόμενη, έτσι ώστε να είναι πιο χρηστική και αυτόνομη. Έτσι, θα υπάρχει δυνατότητα φόρτισης μέσω βύσματος micro - usb, με φορτιστή 1 με 2.1 A.

4. Κουτί Κατασκευής

Το κουτί που επιλέγεται για να περικλείει τη συσκευή ανάγνωσης, είναι το Κουτί Κατασκευών 210x110x40.5mm Μαύρο (Display Mount). Είναι κατασκευασμένο για να φέρει οθόνη και οι διαστάσεις του είναι επαρκείς ώστε να χωρέσουν όλα τα μέρη της διάταξης ανάγνωσης. Στο κουτί αυτό, θα πρέπει να ανοιχτούν κάποια διαστήματα, ώστε να χωρέσει η οθόνη αλλά και τα κουμπιά ελέγχου.

5. Συνδεσμολογία και χειρισμός



Εικόνα Π2 Συνδεσμολογία συσκευής ανάγνωσης

3. Κώδικας (Προγραμματισμός)

3.1 Συσκευή Καταγραφής

Στην αρχή, εισάγονται όλες οι απαραίτητες βιβλιοθήκες κώδικα, οι οποίες μας παρέχουν τις κατάλληλες ρουτίνες και συναρτήσεις για να γίνει σωστή ανάγνωση των αισθητήρων, η σύνταξη του μηνύματος που θα λάβει και θα σταλεί στην κάθε

συσκευή, η αποκωδικοποίησή του, καθώς και η ενεργοποίηση και ρύθμιση του συστήματος ραδιοκυμάτων.

```
#include <Arduino.h>
#include "Adafruit_Si7021.h"
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

Στο σημείο αυτό, γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών και σταθερών που θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα.

```
#define RFM95_CS 8
#define RFM95_RST 4
#define RFM95_INT 7
#define RF95_FREQ 434.0
#define power_pin 13
#define sensor_pin A0
uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t len = sizeof(buf);
RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);
Adafruit_Si7021 sensor = Adafruit_Si7021();
```

Η συνάρτηση αυτή κατασκευάστηκε για να ρυθμίζει και να ενεργοποιεί το σύστημα ραδιοκυμάτων.

```
void initialize_radio_module()
{
  if (!rf95.init())
  {
    initialize_radio_module();
  }
  else
  {
    rf95.setFrequency(RF95_FREQ);
    rf95.setTxPower(23, false);
  }
}
```

Η παρακάτω συνάρτηση κατασκευάστηκε για να λαμβάνει μετρήσεις υγρασίας αέρα από τον αισθητήρα υγρασίας / θερμοκρασίας αέρα.

```
short air_humidity()
{
    return si.readHumidity();
}
```

Η παρακάτω συνάρτηση κατασκευάστηκε για να λαμβάνει μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα από τον αισθητήρα υγρασίας / θερμοκρασίας αέρα.

```
short air_temperature()
{
    return si.readTemperature();
}
```

Η παρακάτω συνάρτηση κατασκευάστηκε για να λαμβάνει μετρήσεις από τον αισθητήρα υγρασίας εδάφους.

```
short soil_moisture()
{
    pinMode(13, OUTPUT);
    digitalWrite(13, HIGH);
    int value = analogRead(A0);
    digitalWrite(13, LOW);
    pinMode(13, INPUT);
    return map(value, 0, 1023, 0, 0, 100);
}
```

Στη βασική συνάρτηση εκκίνησης του Arduino, ενεργοποιεί όλα τα συστήματα επικοινωνίας και αρχικοποιεί τις καταστάσεις πριν εισέλθει το πρόγραμμα στη συνάρτηση που επαναλαμβάνεται συνεχώς και τρέχουν όλες οι επαναλαμβανόμενες εντολές.

```
void setup()
{
    initialize_radio_module();
    sensor.begin();
}
```

Στην επαναλαμβανόμενη συνάρτηση του Arduino, βρίσκονται όλες οι εντολές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αν έχει λάβει εντολή να συγκεντρώσει και να αποστείλει μετρήσεις, για τη σύνταξη του μηνύματος με την κατάλληλη μορφή ώστε να αποσταλεί σωστά, καθώς και τη διαδικασία λήψης μετρήσεων.

```

void loop()
{
  if (rf95.waitForAvailableTimeout(random(3500, 8000)) && rf95.recv(buf, &len))
  {

```

Αν δεχτεί σήμα - εντολή για τη λήψη μετρήσεων, τότε λαμβάνει τις μετρήσεις και τις αποστέλλει στη συσκευή ανάγνωσης.

```

    if (((char)buf[0]) == 'r')
    {
      StaticJsonDocument<200> doc;
      root["humidity"] = air_humidity();
      root["temperature"] = air_temperature();
      root["moisture"] = soil_moisture();
      String measurements;
      serializeJson(root, measurements);
      uint8_t message[measurements.length() + 1];
      memcpy(message, measurements.c_str(), min(measurements.length(),
measurements.length() + 1));
      rf95.send(message, sizeof(message));
      rf95.waitForPacketSent();
    }
  }
}

```

3.2 Συσκευή Ανάγνωσης

A. Feather LoRa

Στην αρχή, εισάγονται όλες οι απαραίτητες βιβλιοθήκες κώδικα, οι οποίες παρέχουν τις κατάλληλες ρουτίνες και συναρτήσεις για να γίνει σωστή ανάγνωση των αισθητήρων, η σύνταξη του μηνύματος που θα λάβει και θα σταλεί στην κάθε συσκευή, η αποκωδικοποίησή του, καθώς και η ενεργοποίηση και ρύθμιση του συστήματος ραδιοκυμάτων. Σε αυτή τη διάταξη θα πρέπει να εισαχθεί και η βιβλιοθήκη για τον χειρισμό της LCD οθόνης που θα παρουσιάζει τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

```

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>

```

```
#include <SPI.h>
#include <RH_RF95.h>
#include <ArduinoJson.h>
#include <LiquidCrystal.h>
```

Στο σημείο αυτό, γίνεται η αρχικοποίηση των μεταβλητών και σταθερών που θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα

```
#define RFM95_CS 8
#define RFM95_RST 4
#define RFM95_INT 7
#define RF95_FREQ 434.0
uint8_t buf[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t len = sizeof(buf);
RH_RF95 rf95(RFM95_CS, RFM95_INT);
StaticJsonDocument<200> doc;
uint8_t r[1] = "r";
// initialize the library with the numbers of the interface pins
LiquidCrystal lcd(12, 11, 10, 9, 6, 5);
```

Η συνάρτηση αυτή κατασκευάστηκε για να ρυθμίζει και να ενεργοποιεί το σύστημα ραδιοκυμάτων.

```
void initialize_radio_module()
{
  if (!rf95.init())
  {
    initialize_radio_module();
  }
  else
  {
    rf95.setFrequency(RF95_FREQ);
    rf95.setTxPower(23, false);
  }
}
```

Στη βασική συνάρτηση εκκίνησης του Arduino, ενεργοποιεί τα συστήματα επικοινωνίας, την οθόνη LCD και αρχικοποιεί τις καταστάσεις πριν εισέλθει το πρόγραμμα στη συνάρτηση που επαναλαμβάνεται συνεχώς και τρέχουν όλες οι επαναλαμβανόμενες εντολές. Επίσης, ενεργοποιεί και το δίαυλο επικοινωνίας I2C με τον συνδεδεμένο μικροελεγκτή HUZZAH.

```

void setup()
{
  pinMode(18, INPUT);
  initialize_radio_module();
  Wire.begin();
  // put your setup code here, to run once:
  // set up the LCD's number of columns and rows:
  lcd.begin(16, 2);
}

```

Στην επαναλαμβανόμενη συνάρτηση του Arduino, βρίσκονται όλες οι εντολές που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο αν έχει πατηθεί το κουμπί της λήψης μετρήσεων με σκοπό να στείλει την εντολή στη συσκευή καταγραφής, για τη λήψη του μηνύματος με την κατάλληλη μορφή ώστε να αποκωδικοποιηθεί σωστά, καθώς και την εμφάνιση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

```

void loop()
{
  // put your main code here, to run repeatedly:
  // set the cursor to column 0, line 1
  // (note: line 1 is the second row, since counting begins with 0):
  lcd.setCursor(0, 1);
  Ελέγχει αν το κουμπί μετρήσεων πατήθηκε. Αν ναι, αποστέλλει σήμα στη συσκευή
  καταγραφής να λάβει μετρήσεις.

  if (digitalRead(18) == HIGH)
  {
    rf95.send(r, sizeof(r));
    rf95.waitPacketSent();

```

Αν λάβει πακέτο μετρήσεων, το καταχωρεί σε μία συμβολοσειρά και την αποκωδικοποιεί με σκοπό να εξάγει τα δεδομένα της μέτρησης.

```

    if (rf95.waitAvailableTimeout(random(3500, 8000)) && rf95.recv(buf, &len))
    {
      StaticJsonDocument<200> doc;
      DeserializationError error = deserializeJson(doc, (char *)buf);
      if (error)
      {
        Serial.print(F("deserializeJson() failed: "));
        Serial.println(error.c_str());
        return;

```

```

    }
    else
    {
        int hum = doc["humidity"];
        float temp = doc["temperature"];
        int soil = doc["moisture"];
    }
}
}

```

Αποστέλλει τα δεδομένα στον HUZAZH, με σκοπό να τα κάνει ορατά στο δίκτυο.

```

rf95.waitForAvailable(1000);
uint8_t mqtt_buffer[RH_RF95_MAX_MESSAGE_LEN];
uint8_t buffer_length = sizeof(mqtt_buffer);
if (rf95.recv(mqtt_buffer, &buffer_length))
{
    Wire.beginTransmission(9);
    Wire.write(x);
    Wire.endTransmission();
}

```

Εμφανίζει τις μετρήσεις στην οθόνη LCD.

```

lcd.print("T:", temp, "H:", hum, "Soil M:", soil);
lcd.clear();
delay(20);
}

```

B. Feather HUZAZH

Ο μικροελεγκτής αυτός δέχεται τις μετρήσεις από τον μικροελεγκτή Feather LoRa μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας I2C και τα ανεβάζει στο δίκτυο. Τα αποτελέσματα τα καθιστά ορατά μέσω οποιουδήποτε προγράμματος περιήγησης ηλεκτρονικών υπολογιστών ή έξυπνων κινητών τηλεφώνων που είναι συνδεδεμένα στο ίδιο δίκτυο WiFi.

Αρχικά εισάγονται οι κατάλληλες βιβλιοθήκες κώδικα και αρχικοποιούνται οι απαραίτητες παράμετροι.

```
#include <Arduino.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ESP8266WebServer.h>
#include <Wire.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

Εδώ εκχωρούνται τα στοιχεία σύνδεσης στο δίκτυο WiFi.

```
const char *ssid = "WiFi Network Name";
const char *password = "WiFi Password key";
```

```
int moisture = 0;
int humidity = 0;
int temperature = 0;
String received;
StaticJsonDocument<200> doc;
```

```
ESP8266WebServer server(80);
```

Στη συνάρτηση αυτή, όταν λάβει μετρήσεις τις αποκωδικοποιεί και τις καταχωρεί στις ανάλογες μεταβλητές.

```
void receiveEvent(int bytes)
{
    received = Wire.readString();
    DeserializationError error = deserializeJson(received.toCharArray(), json);

    if (error)
    {
        Serial.print(F("deserializeJson() failed: "));
        Serial.println(error.c_str());
        return;
    }

    moisture = doc['moisture'];
    humidity = doc['humidity'];
    temperature = doc['temperature'];
}
```

Στη συνάρτηση αυτή δημιουργείται η συμβολοσειρά που θα εμφανίζεται στα προγράμματα περιήγησης.

```

void handle_root()
{

    server.send(200, "text/plain", "Measurements: \n Soil Moisture: " + String(moisture)
+ "% \n Humidity: " + String(humidity) + "% \n Temperature: " + String(temperature) +
"C");
    delay(100);
}

void setup()
{
    Wire.begin(9);
    Wire.onReceive(receiveEvent);
    Serial.begin(115200);
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.on("/", handle_root);
}

void loop()
{
    server.handleClient();
    // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

4. Εφαρμογή Διάταξης

4.1 Συσσκευή Καταγραφής

Η συσκευή καταγραφής εγκαθίσταται μέσα στο αγροτεμάχιο και με την ενεργοποίησή της αρχίζει να λειτουργεί και περιμένει να λάβει εντολή για λήψη και αποστολή μετρήσεων στην συσκευή ανάγνωσης.

4.1.1 Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση της συσκευής γίνεται με τον εξής τρόπο: Αρχικά, πρέπει να ανοιχτεί μία οπή στο έδαφος βάθους γύρω στο 1 μέτρο. Στη συνέχεια τοποθετείται ο κόμβος αισθητήρων (που φαίνεται στην εικόνα Π.3), έτσι ώστε να βρίσκεται το κουτί σε απόσταση 1,5 μέτρων από το έδαφος. Τέλος, καρφώνεται ο αισθητήρας υγρασίας εδάφους στο επιθυμητό βάθος εντός της οπής και στη συνέχεια καλύπτεται.



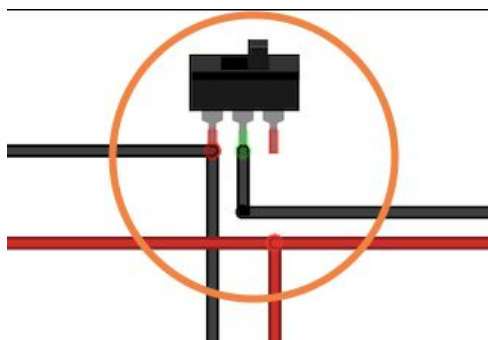
Εικόνα Π3 Εγκατεστημένος κόμβος αισθητήρων - συσκευής καταγραφής

4.1.2 Ενεργοποίηση

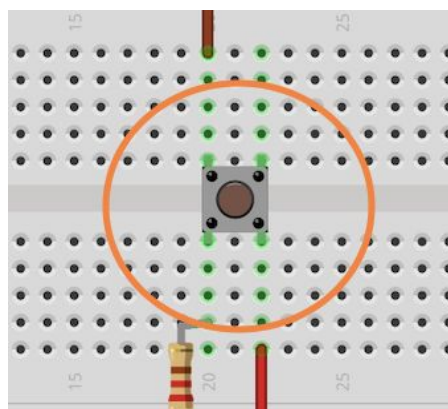
Για την ενεργοποίηση της συσκευής, όταν έχει εγκατασταθεί, το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να συνδεθεί το βύσμα της μπαταρίας με τον μικροελεγκτή. Αμέσως, αρχίζει η διαδικασία αρχικοποίησης και ενεργοποίησης της επικοινωνίας μέσω LoRa, και στη συνέχεια εισέρχεται σε λειτουργία αναμονής μέχρι να λάβει εντολή από τη συσκευή ανάγνωσης.

4.2 Συσσκευή Ανάγνωσης

Για την ενεργοποίηση της συσκευής ανάγνωσης, αφού συνδεθεί η μπαταρία με τον μικροελεγκτή, θα πρέπει να πιεστεί ο διακόπτης ενεργοποίησης και να τεθεί στη θέση ON (Εικόνα Π4). Μόλις συμβεί αυτό, η συσκευή αρχικοποιείται και ανοίγει η επικοινωνία μέσω LoRa. Στη συνέχεια, εισέρχεται σε κατάσταση αναμονής, μέχρι να πατηθεί το κουμπί (button) εντολής (Εικόνα Π5) για λήψη μετρήσεων. Έτσι, όταν πατηθεί το κουμπί αυτό, στέλνει εντολή στη συσκευή καταγραφής να συλλέξει μετρήσεις και να τις στείλει πίσω στη συσκευή ανάγνωσης. Στη συνέχεια, στην οθόνη εμφανίζονται οι τρέχουσες μετρήσεις (Εικόνα Π6).



Εικόνα Π4 Διακόπτης ενεργοποίησης

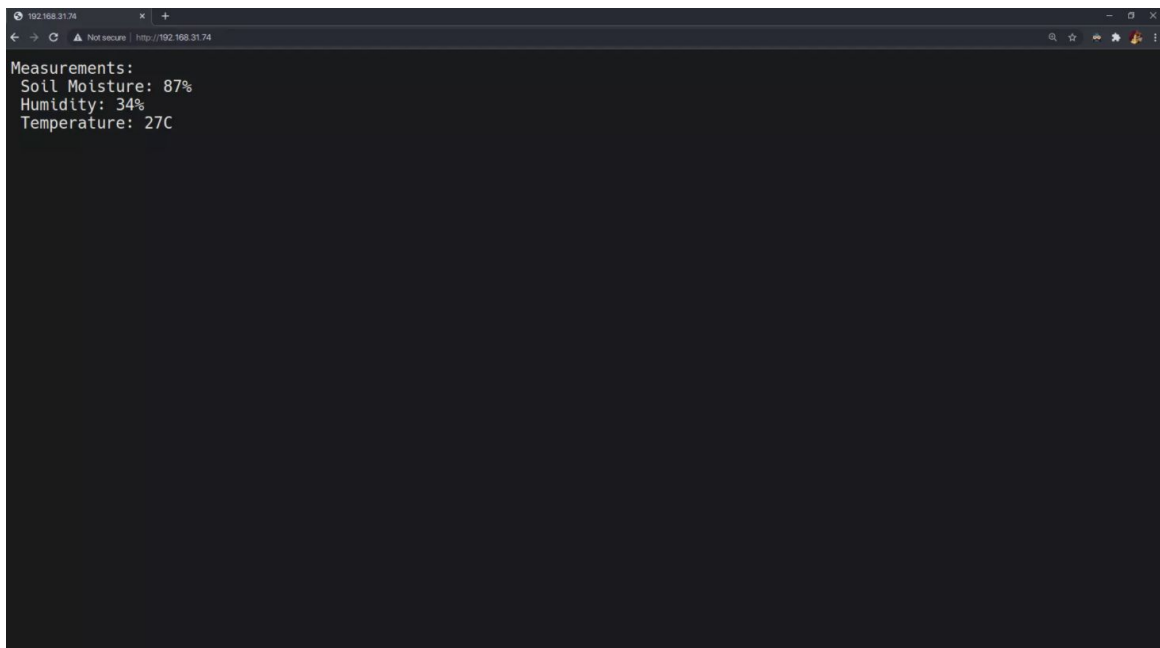


Εικόνα Π5 Κουμπί εντολής μέτρησης

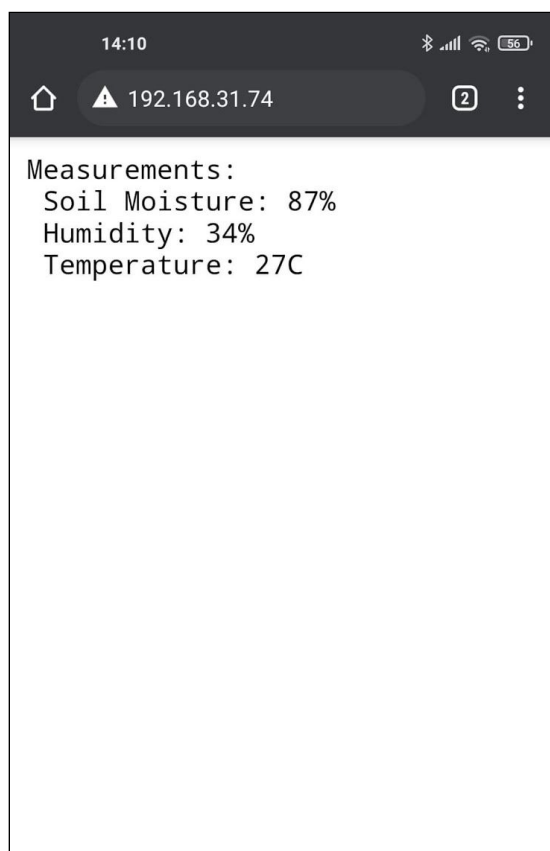


Εικόνα Π6 Οθόνη μετρήσεων συσκευής ανάγνωσης

Ταυτόχρονα, τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι ορατά μέσω το δικτύου WiFi, μέσω οποιουδήποτε προγράμματος περιήγησης, πληκτρολογώντας ως διεύθυνση την διεύθυνση διαδικτυακού πρωτοκόλλου (IP) της συσκευής. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως εξής:



Εικόνα Π7 Στιγμιότυπο Οθόνης μετρήσεων μέσω προγράμματος περιήγησης Ηλεκτρονικού Υπολογιστή



Εικόνα Π8 Στιγμιότυπο Οθόνης μετρήσεων μέσω προγράμματος περιήγησης Έξυπνου Κινητού Τηλεφώνου

5. Συμπεράσματα και Βελτιώσεις

Συμπεράσματα

Η διάταξη αυτή χρησιμοποιήθηκε για να κάνει αποδοτικότερες βασικές εργασίες στον αγροτικό κλάδο αλλά και στη διαχείριση εγκαταστάσεων πρασίνου γενικότερα.

Με τα δεδομένα αυτά, είναι δυνατό να βγάλουν οι επαγγελματίες συμπεράσματα για αποδοτικότερη διαχείριση των υδάτων.

Οι μετρήσεις που λαμβάνει είναι σε μεγάλο βαθμό ακριβείς και το εύρος των τιμών που καλύπτουν οι αισθητήρες, ικανοποιούν όλο το εύρος τιμών που χρειάζεται να εκτεθεί το σύστημα, ακόμα και σε ακραία καιρικά φαινόμενα.

Σε περιπτώσεις πολύ πυκνής βλάστησης μεταξύ των δύο συσκευών, και χάνεται πρακτικά η άμεση οπτική επικοινωνία τους (line of sight), η απόσταση που μπορούν να αλληλεπιδράσουν μειώνεται σε μεγάλο βαθμό.

Βελτιώσεις

Η διάταξη που επιλέχθηκε, είναι ένας βασικός συνδυασμός υλικού και λογισμικού, που μπορεί να δώσει σε ικανοποιητικό βαθμό την απόδειξη της ορθότητας της ιδέας (proof of concept) για ένα σύστημα βελτίωσης των αγροτικών εργασιών. Στη συνέχεια θα πρέπει να διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιωθούν λειτουργίες όπως:

- Η ενεργειακή κατανάλωση των συσκευών. Αυτό θα επιτευχθεί τόσο με τη χρήση μεγαλύτερης μπαταρίας στις δύο συσκευές, με τη χρήση φωτοβολταϊκού πάνελ στη συσκευή καταγραφής, καθώς και με την τροποποίηση του κώδικα για να μπαίνει σε λειτουργία ύπνου, μειώνοντας δραματικά την κατανάλωση ενέργειας.
- Η δυνατότητα αυτόματης σύνδεσης και δημιουργίας δικτύου (plug and play) για να είναι και εμπορικά διαχειρίσιμο, μειώνοντας κατά πολύ τα κόστη εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος. Για αυτό, πρέπει να τροποποιηθεί ο κώδικας και στις δύο συσκευές με σκοπό να στήνεται από τη συσκευή ανάγνωσης δίκτυο με πολλαπλές συσκευές καταγραφής, αυτοματοποιημένα, με όσες συσκευές και να προσθέτει ο χρήστης δυναμικά.
- Τέλος, για να γίνει αρκετά πιο αποδοτική η λειτουργία της διάταξης αυτής, θα ήταν χρήσιμο η συλλογή, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων σε σύστημα που θα βασίζεται σε τεχνολογία σύννεφου (cloud), για να είναι προσβάσιμα χωρίς χωρικούς περιορισμούς.

Βιβλιογραφία

- [1] Οδηγός βιώσιμης διαχείρισης και εξοικονόμησης νερού, Τράπεζα Πειραιώς
- [2] Libelium, «The Future of Farming through the IoT Perspective,» Beecham Research, 2016.
- [3] C. McClelland, «IoT for all,» 04 2017
- [4] <https://iot-analytics.com/global-overview-1600-enterprise-iot-projects/>
- [5] <https://www.iotforall.com/iot-connectivity-comparison-lora-sigfox-rpma-lpwan-technologies/>
- [6] H. H. Rashmi Sharan Sinha, et al., «A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT,» Science Direct, 2017.
- [7] Connect the Dots: When in Doubt, Get Both NB-IoT and LTE-M
- [8] W. Wong, «Choices Abound for Long-Range Wireless IoT,» Electronic Design, 2016.
- [9] Jean-Paul Bardyn, et al., «IoT: The Era of LPWAN is starting now,» Wireless and Sensing Business Unit, Semtech, 2016.
- [10] «LPWAN-Based Vehicular Monitoring Platform with aGeneric IP Network» , Interface José Santa , Ramon Sanchez-Iborra, Pablo Rodriguez-Rey, Luis Bernal-Escobedo, Antonio F. Skarmeta
- [11] O. Vermesan & P. Friess, Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems, River Publishers, 2013.
- [12] Terje Lassen, et al., «How can Long Range NarrowBand improve Agricultural Efficiency,» Electronic Design, 2015.[4] Terje Lassen, et al., «How can Long Range NarrowBand improve Agricultural Efficiency,» Electronic Design, 2015.
- [13] What is Microprocessor: Block Diagram, Evolution, Working, Features
- [14] Arduino Official. {Online}. www.arduino.com
- [15] Adafruit. {Online}. www.adafruit.com
- [16] Ν. Θεοδώρου, Ηλεκτρικές Μετρήσεις: Κλασικές, Ηλεκτρονικές και Ψηφιακές, Εκδόσεις Συμμετρία, 2016.
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Liquid-crystal_display
- [18] K. A. Dimitrios Piromalis, «SensoTube: A Scalable Hardware Design Architecture,» MDPI, 2016.
- [19] T. Sohraby, et al., Wireless sensor networks: technology, protocols, and applications, John Wiley and Sons, 2007.
- [20] Διπλωματική Εργασία: «Συσσωρευτές ηλεκτρικής ενέργειας στις ηλεκτρονικές συσκευές» , Ζερβάκης Μιχάλης
- [21] Christian Glaize and Sylvie Genies – Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems 2013
- [22] Βαθμός προστασίας IP κώδικας » GeoV Solutions

