



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

Τίτλος Δ.Ε.

«Σχεδίαση Συστήματος Απομακρυσμένης Παρακολούθησης Ιατρικού Εξοπλισμού με χρήση LoRa »

Κωδικός Δ.Ε 23193

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Μιχάλης Ερμής
Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Άγγελος Γιακουμής
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 30/3/2023
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε 12/9/2025

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή ΜΙΧΑΗΛ ΕΡΜΗ που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.



«Αφιέρωση»

Την πτυχιακή μου την αφιερώνω στην οικογένεια μου και στους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου.

Πρόλογος

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (IoT) έχει φέρει επανάσταση σε διάφορους κλάδους όπως το έξυπνο σπίτι, τη βιομηχανία συμπεριλαμβανομένης της υγειονομικής περίθαλψης, επιτρέποντας την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο, την αυτοματοποίηση και τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων. Σήμερα, οι συσκευές IoT διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στη βελτίωση της αποδοτικότητας, της ασφάλειας και της αξιοπιστίας σε ιατρικά περιβάλλοντα. Μία από τις πιο καινοτόμες εξελίξεις στον τομέα αυτό είναι η ενσωμάτωση της τεχνολογίας LoRa (μεγάλης εμβέλειας), η οποία επιτρέπει την επικοινωνία χαμηλής ισχύος και μεγάλης απόστασης μεταξύ των συσκευών. Σε αυτό το έργο, αναπτύξαμε ένα σύστημα IoT με βάση το LoRa που έχει σχεδιαστεί για την παρακολούθηση του ιατρικού εξοπλισμού σε μεγάλες αποστάσεις, εξασφαλίζοντας τη βέλτιστη απόδοση, εντοπίζοντας ανωμαλίες και βελτιώνοντας τις συνολικές λειτουργίες της παροχής υγειονομικής περίθαλψης. Η λύση αυτή αποσκοπεί στην παροχή μιας οικονομικά αποδοτικής και επεκτάσιμης προσέγγισης για τη διαχείριση ιατρικού εξοπλισμού σε απομονωμένες και απομακρυσμένες περιοχές, βελτιώνοντας τελικά τη φροντίδα των ασθενών και την αποδοτικότητα των νοσοκομείων.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης ιατρικού εξοπλισμού μεγάλης εμβέλειας, με στόχο την κάλυψη απομακρυσμένων περιοχών. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να μετρά τις αλλαγές στην πίεση τριών σωλήνων παροχής Οξυγόνου (O₂), Αζώτου (N₂) και Κενού (VAC) σε ασθενείς. Οι μετρήσεις θα πρέπει να στέλνονται σε έναν κεντρικό κόμβο, οποίος είναι υπεύθυνος για την συλλογή των δεδομένων. Τέλος, τα δεδομένα θα πρέπει να αποθηκεύονται σε έναν διακομιστή, από τον οποίο θα είναι δυνατή η παρακολούθηση της κάθε συσκευής καθώς και η δημιουργία ειδοποιήσεων σε περίπτωση απόκλισης των τιμών των μετρήσεων από τα επιθυμητά όριο, που θα ορίζονται από τον εκάστοτε χρήστη.

Για την επίτευξη αυτού του συστήματος θα ακολουθήσουμε μια ολιστική προσέγγιση εξερευνώντας ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών τεχνολογικών πεδίων. Τα πεδία αυτά ξεκινούν από το επίπεδο του υλικού με την κατασκευή των πρότυπων κυκλωμάτων, κόλληση των πλακετών και 3D σχεδίαση και συναρμολόγηση της συσκευής, μέχρι το προγραμματιστικό που καλύπτει των ενσωματωμένο κώδικα των συσκευών καθώς και του Διακομιστή παρακολούθησης τους.

Παράλληλα με την περιγραφή της διαδικασίας υλοποίησης του συστήματος αυτού, θα παραθέσουμε και το βασικό γνωστικό υπόβαθρο, τα εργαλεία και υλικά που χρησιμοποιήσαμε.

"Design of a Remote Monitoring System for Medical Equipment using LoRa"

«Michalis Ermis»

Abstract

This thesis deals with the creation of an integrated system for monitoring long-range medical equipment in order to cover remote areas. More specifically, the system should be able to measure the pressure changes of three tubes supplying Oxygen (O₂), Nitrogen (N₂) and Vacuum (VAC) to patients. The measurements should be sent to a central node, which is responsible for data collection. Finally, the data should be stored on a server, from which it will be possible to monitor each device and to generate alerts in case of deviation of the measured values from the desired limits, defined by each user.

To achieve this system we will take a holistic approach by exploring a wide range of different technological fields. These fields range from the hardware level with the fabrication of prototype circuits, soldering of boards and 3D design and assembly of the device, to the programming covering the embedded code of the devices as well as their Monitoring Server.

Along with the description of the implementation process of this system, we will also provide the basic knowledge background, the tools and materials used.

Ευχαριστίες

Οι ευχαριστίες πηγάζουν σε όλους τους ανθρώπους που με στήριξαν σε όλη την διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών, στους γονείς μου και στους φίλους μου. Αλλά κυρίως στους ανθρώπους που δεν βρίσκονται στην ζωή και ήταν σημαντικοί για εμένα.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	4
Περίληψη	5
Abstract.....	6
Ευχαριστίες	7
Περιεχόμενα	8
Κατάλογος Σχημάτων	9
Συντομογραφίες - Ακρωνύμια.....	12
Κεφάλαιο 1ο: Προοίμιο της Εργασίας.....	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Περιγραφή & Δομή Εργασίας	13
1.3 Στόχος Εργασίας	14
1.4 Διάρθρωση Κειμένου	14
Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στις Τεχνολογίες	15
2.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων.....	15
2.2 Ενσωματωμένα Συστήματα.....	16
2.2.1 Αισθητήρες	17
2.2.2 Ενεργοποιητές	19
2.2.3 Μικροελεγκτής.....	20
2.3 Το “Πράγμα” (Thing).....	22
2.4 IoT Δίκτυα.....	22
2.3.1 Cellular	23
2.3.2 LAN/PAN	24
2.3.3 MeshProtocols	27
2.3.4 LPWAN.....	27
Κεφάλαιο 3ο: Προγράμματα & Υλικά.....	31

3.1 Πρόγραμμα.....	31
3.1.1 KiCad	31
3.1.2 FUSION 360.....	32
3.1.3 VisualStudioCode.....	32
3.1.4 MongoDB&MongoDBCompass.....	35
3.2.1 Υλικά Υλοποίησης	35
Κεφάλαιο 4ο: Υλοποίηση Υλικού.....	37
4.1 Πρωτότυπο	37
4.2 KiCAD& Κατασκευή.....	39
4.3 Υλοποίησης Υλικού Συσκευής.....	41
4.3.1 3D Σχεδίαση της συσκευής.....	41
4.3.2 Συναρμολόγηση Συσκευής	44
Κεφάλαιο 5ο: Προγραμματισμός Συσκευών	47
5.1 Εισαγωγή	47
5.2 Κώδικας Μετρητών	47
5.3 Κώδικας Κόμβου Γεφύρωσης	50
Κεφάλαιο 6ο: Προγραμματισμός Server	52
6.1 Εισαγωγή.....	52
6.2 Δομή & Μοντέλα	52
6.2 Οθόνες & Λειτουργία.....	55
Κεφάλαιο 7ο: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Επεκτάσεις.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

Κατάλογος Σχημάτων

[Εικόνα 1.1: Ανασκόπηση της διάταξης του Συστήματος](#)

[Εικόνα 2.1: Δομή Ενσωματωμένου Συστήματος](#)

[Εικόνα 2.2: Αρχιτεκτονική Πυρήνα ESP32](#)

[Εικόνα 2.3: Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων](#)

[Εικόνα 2.4: Αρχιτεκτονική Μεσιτών \(Brokers\)](#)

[Εικόνα 2.5: Ασύρματα Δίκτυα βάση Απόσταση - Εύρους Ζώνης](#)

[Εικόνα 2.6: Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRaWAN](#)

[Εικόνα 4.1: Πρωτότυπες πλακέτες Συσκευών Συλλογής δεδομένων και Γεφύρωσης επικοινωνίας.](#)

[Εικόνα 4.2: Σχηματικό πρωτότυπης Συσκευής συλλογής δεδομένων.](#)

[Εικόνα 4.3: Πρωτότυπο PCB Συσκευής συλλογής δεδομένων.](#)

[Εικόνα 4.4: 3D Σχέδιο του κάτω μέρους της συσκευής.](#)

[Εικόνα 4.5: 3D Σχέδιο του πάνω μέρους της συσκευής.](#)

[Εικόνα 4.6: 3D Σχέδιο από τα καπάκια των αισθητήρων BMP280](#)

[Εικόνα 4.7: Ο εκτυπωτής BambuLab κατά την εκτύπωση του πάνω μέρους της συσκευής.](#)

[Εικόνα 5.1: Αρχιτεκτονική Συλλογής δεδομένων και μεταφοράς στην Συσκευή γεφύρωσης επικοινωνίας.](#)

[Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Ροής Συσκευής Συλλογής Δεδομένων](#)

[Εικόνα 5.3: Δομή Πακέτου Συλλογής δεδομένων](#)

[Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική μεταφοράς δεδομένων από την Γέφυρα στον Μεσίτη \(Broker\)](#)

[Εικόνα 5.5: Διακομιστής στο κινητό για επιλογή δικτύου σύνδεσης της συσκευής γεφύρωσης.](#)

[Εικόνα 5.6: Διάγραμμα κατάστασης WiFi της συσκευής γεφύρωσης.](#)

[Εικόνα 5.6: Αρχιτεκτονική Μεσίτη για μεταφορά δεδομένων.](#)

[Εικόνα 6.1: Αρχιτεκτονική Διακομιστή για παρακολούθηση - έλεγχο συσκευών](#)

[Εικόνα 6.2: Πίνακες Χρήστη, Πράγματος, Δεδομένων και Ειδοποιήσεων στην βάση δεδομένων.](#)

[Εικόνα 6.3: Οθόνη αρχικής σελίδας σύνδεσης στην εφαρμογή.](#)

[Εικόνα 6.4: Οθόνη προβολής διαθέσιμων συσκευών συλλογής δεδομένων.](#)

[Εικόνα 6.5: Οθόνη προβολής διαθέσιμων συσκευών με ενεργή συσκευή.](#)

[Εικόνα 6.6: Οθόνη προβολή λεπτομερειών των δεδομένων συσκευής.](#)

[Εικόνα 6.7: Οθόνη προβολής διαθέσιμων ειδοποιήσεων.](#)

[Εικόνα 6.8: Οθόνη προβολής του προφίλ του χρήστη.](#)

Συντομογραφίες - Ακρωνύμια

IoT = Internet of Things

GSM=Global System Mobile

SIM=Subscriber Identity Module

WPAN= Wireless Personal Area Network

WLAN = Wireless Local Area Network

WAN= Wireless Area Network

MAC= Media Access Control

RAM= Random Access Memory

ROM= Read Only Memory

EEPROM= Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

CPU=Central Processing Unit

SPI= Serial Peripheral Interface

PWM=Pulse Width Modulation

I2C=Inter-Integrated Circuit

UART=Universal asynchronous receiver-transmitter

BLE = Bluetooth Low Energy

PCB= Printed Circuit Board

LPWA=Low-power wide-area

LoRa=Long Range

LoRaWAN=Long Range Wide Area Networking

MQTT=MessageQueuingTelemetry Transport

Κεφάλαιο 1ο: Προοίμιο της Εργασίας

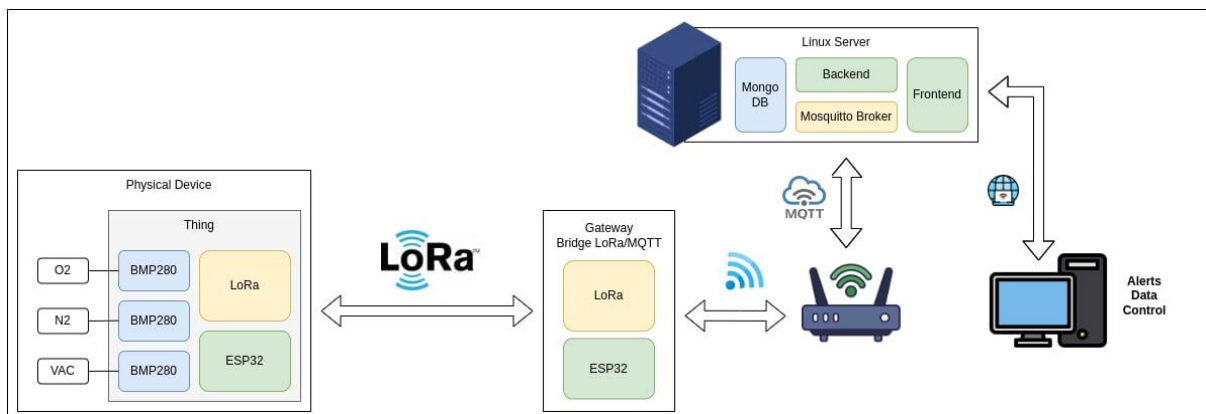
1.1 Εισαγωγή

Στον σημερινό διασυνδεδεμένο κόσμο, το IoT (Διαδίκτυο των πραγμάτων) και τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν επηρεάσει βαθιά την καθημερινή μας ζωή, ιδίως σε συστήματα που παρακολουθούν και βελτιώνουν την ευημερία μας. Αυτές οι τεχνολογίες ενσωματώνονται διαρκώς σε καθημερινές συσκευές, επιτρέποντας τη συλλογή, την ανάλυση και την αυτοματοποίηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Από φορητές συσκευές παρακολούθησης της υγείας που παρακολουθούν τη φυσική μας κατάσταση και τα ζωτικά μας όργανα μέχρι έξυπνα οικιακά συστήματα που ρυθμίζουν τη χρήση ενέργειας και την ασφάλεια, το IoT και τα ενσωματωμένα συστήματα έχουν γίνει απαραίτητα. Παίζουν επίσης καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση της οδικής κυκλοφορίας, στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, ακόμη και στις εξατομικευμένες εμπειρίες των πελατών.

Ένας από τους πλέον διαδεδομένους τομείς που IoT τεχνολογίες έχουν εφαρμογή είναι της Υγείας. Οι συσκευές αυτές μεταδίδουν δεδομένα σε παρόχους υγειονομικής περίθαλψης για απομακρυσμένη παρακολούθηση, έγκαιρη διάγνωση και παρέμβαση. Το IoT τροφοδοτεί επίσης έξυπνα νοσοκομειακά συστήματα, αυτοματοποιώντας την παρακολούθηση των ασθενών μέσω συνδεδεμένων συσκευών όπως αντλίες έγχυσης και οθόνες ζωτικών σημείων. Πέρα από την ατομική περίθαλψη, το IoT βοηθά στη διαχείριση χρόνιων ασθενειών, στην τήρηση της φαρμακευτικής αγωγής και στην τηλεϊατρική, ενισχύοντας την προσβασιμότητα και την αποτελεσματικότητα. Συνδυάζοντας τη συνδεσιμότητα με την ανάλυση, το IoT μετατρέπει την υγειονομική περίθαλψη σε έναν προληπτικό και ασθενοκεντρικό τομέα.

1.2 Περιγραφή & Δομή Εργασίας

Στην παρούσα εργασία πραγματευόμαστε τη δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης ιατρικού εξοπλισμού, με στόχο την υποστήριξη απομακρυσμένων περιοχών. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα, μέσω συσκευών (*things*) θα πρέπει να είναι ικανό να παρακολουθεί και να καταγράφει τις πιέσεις των σωλήνων παροχής Οξυγόνου (O2), Αζώτου (N2) και Κενού (VAC) σε μηχανήματα υποστήριξης ασθενών. Παρακάτω στον σχήμα παρουσιάζεται η δομή του συνολικού συστήματος.



Εικόνα 1.1: Ανασκόπηση της διάταξης του Συστήματος

Όπως παρατηρούμε, οι διάφορες συσκευές συνδέονται σε έναν κεντρικό κόμβο σε συνδεσμολογία αστέρα μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας LoRa. Από εκεί, ο κεντρικός κόμβος, γεφυρώνει την επικοινωνία μεταξύ LoRa και Internet μέσω MQTT, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο στην πληροφορία να είναι προσβάσιμη από οποιοδήποτε συσκευή διαθέτει περιηγητή (Browser). Τέλος η πληροφορία αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων MongoDB και μπορεί να ανακτηθεί από τον χρήστη μέσω ερωτημάτων (queries) του εμπρόσθιου άκρου (Frontend) της ιστοσελίδας μας προς το Backend.

1.3 Στόχος Εργασίας

Καθώς το σύστημα αυτό προορίζεται για την παρακολούθηση ιατρικού εξοπλισμού, άμεσος στόχος της εργασίας είναι η ακριβής καταγραφή των πιέσεων καθώς και η απόκριση των μετρήσεων να πραγματοποιείται σε κατά το δυνατόν πραγματικό χρόνο. Επίσης, είναι σημαντικό το κόστος της υλοποίησης, που αν και πειραματικά, θα πρέπει να παραμείνει μικρό, ενώ θα πρέπει να υπάρχει παράλληλα η διασφάλιση της μετάδοσης της πληροφορίας. Τέλος, το σύστημα θα πρέπει να είναι ικανό να παράγει ειδοποιήσεις στον χρήστη-φροντιστή σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποια ανωμαλία στις μετρήσεις των πιέσεων ή στην συμπεριφορά των απομακρυσμένων συσκευών.

1.4 Διάρθρωση Κειμένου

- Κεφάλαιο 2: Δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο των εννοιών και τεχνολογιών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.
- Κεφάλαιο 3: Παρουσιάζονται τα εργαλεία λογισμικού, οι γλώσσες προγραμματισμού καθώς και τα υλικά που συντέλεσαν στην υλοποίηση του συστήματος.
- Κεφάλαιο 4: Αναλύεται η κατασκευή του Υλικού μέρους του συστήματος. Το υλικό συνίσταται από τις ηλεκτρικές πλακέτες του πρωτότυπου και PCB, καθώς και από τον σχεδιασμό και συναρμολόγηση των μηχανολογικών τμημάτων των συσκευών.
- Κεφάλαιο 5: Παρουσιάζεται και αναλύεται ο κώδικας των συσκευών και τις δυνατότητες που προσφέρει. Θα παρουσιαστούν αναλυτικά λεπτομέρειες της υλοποίησης, τα διαγράμματα ροής καθώς και όλες οι δυνατότητες που προσφέρει το λογισμικό σε συνεργασία με το υλικό και τις εισόδους του χρήστη.
- Κεφάλαιο 6: Παρουσιάζεται η υλοποίηση του κώδικα του server, η δομή του και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν. Καθώς και αναλυτική επεξήγηση των οθονών της εφαρμογής.
- Κεφάλαιο 7: Τέλος, γίνεται μια συνολική ανασκόπηση της εργασίας, εξετάζεται η λειτουργικότητα και η απόδοση του εν λόγω συστήματος και παρουσιάζονται ιδέες για μελλοντικές βελτιώσεις και προσθήκες.

Κεφάλαιο 2ο: Εισαγωγή στις Τεχνολογίες

2.1 Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων

Η έννοια του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), αν και σχετικά σύγχρονη στη σημερινή της μορφή, έχει ρίζες που ξεκινούν από πολλές δεκαετίες πίσω. Η ιδέα των διασυνδεδεμένων συσκευών γεννήθηκε με την ανάπτυξη των τεχνολογιών δικτύωσης. Το ARPANET (πρόδρομος του σύγχρονου διαδικτύου) στα τέλη της δεκαετίας του 1960 έθεσε τις βάσεις για τη σύνδεση συσκευών. Ενώ το 1982, η πρώτη «έξυπνη» συσκευή, ένας τροποποιημένος αυτόματος πωλητής Coca-Cola στο Πανεπιστήμιο CarnegieMellon, συνδέθηκε στο διαδίκτυο. Μπορούσε να αναφέρει την απογραφή του και αν τα ποτά ήταν κρύα, σηματοδοτώντας την αρχή των συνδεδεμένων «πραγμάτων».

Το 1990, ο JohnRomkey δημιούργησε την πρώτη τοστιέρα συνδεδεμένη στο διαδίκτυο, αποδεικνύοντας τη δυνατότητα επικοινωνίας καθημερινών αντικειμένων μέσω διαδικτύου. Στη συνέχεια 9 χρόνια αργότερα το 1999, ο KevinAshton, ένας Βρετανός πρωτοπόρος της τεχνολογίας, επινόησε τον όρο «**Διαδίκτυο των πραγμάτων**» κατά τη διάρκεια μιας παρουσίασης στην Procter & Gamble. Οραματίστηκε έναν κόσμο όπου οι ετικέτες αναγνώρισης ραδιοσυχνότητας (RFID) και οι αισθητήρες θα μπορούσαν να συνδέουν αντικείμενα με το διαδίκτυο για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων.

Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, η ανάπτυξη του IPv6 παρείχε τον τεράστιο χώρο διευθύνσεων που απαιτείται για τη σύνδεση δισεκατομμυρίων συσκευών. Έτσι το 2008, το IoT «απογειώθηκε» επίσημα, όταν ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο ξεπέρασε τον παγκόσμιο πληθυσμό. Αυτή η πρωτόγνωρη αύξηση επιτεύχθηκε χάρη σε τεχνολογίες όπως οι ασύρματοι αισθητήρες, η υπολογιστική νέφους και οι εξελίξεις στα ενσωματωμένα συστήματα προώθησαν το IoT σε κλάδους όπως η μεταποίηση, η υγειονομική περίθαλψη και η ενέργεια.

Τη δεκαετία το 2010, έγινε ο πολλαπλασιασμός των καταναλωτικών συσκευών IoT, όπως έξυπνοι θερμοστάτες (π.χ. Nest), φορητές συσκευές παρακολούθησης φυσικής κατάστασης (π.χ. Fitbit) και έξυπνοι οικιακοί βοηθοί (π.χ. AmazonEcho). Το IoT επεκτάθηκε σε βιομηχανικές εφαρμογές, γνωστές ως Βιομηχανικό Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Industrial Internet of Things - IIoT), βελτιστοποιώντας τις διαδικασίες στη γεωργία, την ενέργεια και τη μεταποίηση. Η άνοδος των μεγάλων δεδομένων, της τεχνητής νοημοσύνης και του 5G ενίσχυσε τις δυνατότητες του IoT, επιτρέποντας πιο εξελιγμένες αναλύσεις και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο.

Σήμερα, το IoT διαμορφώνει το μέλλον της αυτοματοποίησης, της αποδοτικότητας και της λήψης αποφάσεων βάσει δεδομένων, με δισεκατομμύρια συσκευές συνδεδεμένες παγκοσμίως και με ολοένα και μεγαλύτερο ρόλο σε κάθε πτυχή της σύγχρονης ζωής. Υπολογίζεται ότι τέλος του 2024, ο αριθμός των συνδεδεμένων συσκευών IoT αναμένεται να φτάσει τα 18,8 δισεκατομμύρια, σημειώνοντας αύξηση 13% από 16,6 δισεκατομμύρια στο τέλος του 2023. Μέχρι το 2030: Οι προβλέψεις ποικίλλουν, αλλά οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι ο αριθμός των συσκευών IoT θα μπορούσε να αυξηθεί σε 32,1 έως 41,1 δισεκατομμύρια.

Συγκεκριμένα:

- IoTAnalytics προβλέπει περίπου 40 δισεκατομμύρια συσκευές μέχρι το 2030.
- Η Statista προβλέπει ότι ο αριθμός θα διπλασιαστεί σχεδόν από 15,9 δισεκατομμύρια το 2023 σε πάνω από 32,1 δισεκατομμύρια μέχρι το 2030.
- Η GSMA Intelligence προβλέπει περισσότερες από 38 δισεκατομμύρια συνδέσεις IoT έως το 2030, με σημαντικό μέρος να αποδίδεται στον επιχειρηματικό τομέα.

2.2 Ενσωματωμένα Συστήματα

Ένα ενσωματωμένο σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια διαμόρφωση υλικού σε συνδυασμό με εξειδικευμένο λογισμικό που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί μια συγκεκριμένη λειτουργία. Μπορεί να λειτουργεί είτε ως αυτόνομη μονάδα είτε ως μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος. Το στοιχείο υλικού περιλαμβάνει συνήθως έναν μικροεπεξεργαστή, μνήμη υπολογιστή και διάφορους αισθητήρες και ενεργοποιητές που του επιτρέπουν να αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του.

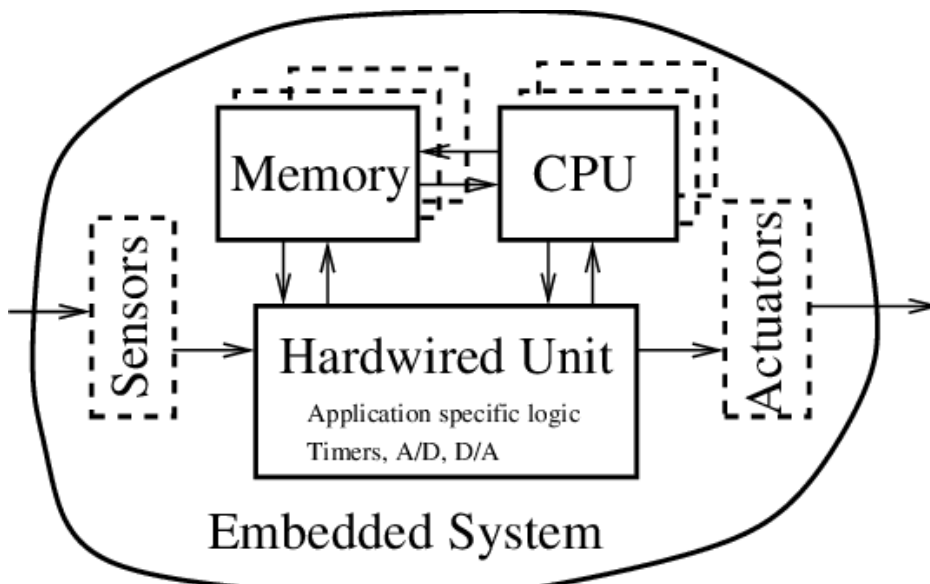
Σήμερα οι ολοένα και αυξανόμενες απαιτήσεις δυνατοτήτων που έχουμε από τα ενσωματωμένα συστήματα σε συνδυασμό με τη ραγδαία πρόοδο που έχει η βιομηχανία σχεδιασμού και παραγωγής υλικού έχει οδηγήσει στην ύπαρξη ενσωματωμένων συστημάτων που ποικίλουν δραματικά σε αρχιτεκτονικές και δυνατότητες. Παρ' όλη τη ποικιλομορφία που παρουσιάζουν, τέτοιου είδους συστήματα μοιράζονται ένα σύνολο από κοινά χαρακτηριστικά τα βασικά από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

- Η **στοχευμένη λειτουργία** είναι ίσως ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά τους. Τα ενσωματωμένα συστήματα μπορεί να διαφέρουν σε ενεργειακή κατανάλωση, πολυπλοκότητα και αρχιτεκτονική αλλά όλα έχουν ως στόχο την επαναλαμβανόμενη εκπλήρωση μιας πολύ συγκεκριμένης λειτουργίας, πράγμα που έχει άμεσο αντίκτυπο στη διαδικασία ανάπτυξης του υλικού και του λογισμικού τους.
- Η **αξιοπιστία** είναι ένα ακόμα πολύ κρίσιμο χαρακτηριστικό τους γνώρισμα. Πολλά ενσωματωμένα συστήματα προβλέπονται να λειτουργούν αυτόνομα για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς σφάλματα. Άλλα, πρέπει να παρέχουν τις υπηρεσίες τους σε αυστηρά καθορισμένα χρονικά παράθυρα χωρίς καθυστερήσεις (Real-Time). Η αποτυχία εκπλήρωσης αυτών των περιορισμών συχνά έχει καταστροφικές συνέπειες καθώς τις περισσότερες φορές τίθεται σε κίνδυνο η ασφάλεια των εμπλεκόμενων ανθρώπων.
- Τα ενσωματωμένα συστήματα σε αντίθεση με τους υπολογιστές γενικής χρήσης είναι απαραίτητο να **παρέχουν διεπαφές χαμηλού επιπέδου ώστε να μπορούν να επικοινωνούν με το διασυνδεδεμένο περιφερειακό υλικό** που περιλαμβάνει αισθητήρες, ενεργοποιητές,

ολοκληρωμένα κυκλώματα σε τσιπ καθώς και άλλα ενσωματωμένα συστήματα στο ίδιο δίκτυο. Η επικοινωνία αυτή επιτυγχάνεται μέσω ηλεκτρικών σημάτων και πρωτοκόλλων επικοινωνίας χαμηλού επιπέδου όπως το I2C. Η απαίτηση αυτή πολλές φορές θέτει περιορισμούς στην επιλογή του υλικού κατά τα στάδια σχεδίασης ενός ενσωματωμένου συστήματος.

- Τέλος, αν και δεν αποτελεί προϋπόθεση, ισχύει ότι τα ενσωματωμένα συστήματα εν γένει παρουσιάζουν πιο στενούς και **αυστηρούς περιορισμούς** σε σύγκριση με τα υπολογιστικά συστήματα γενικής χρήσης. Πολλές φορές αυτοί οι περιορισμοί σχετίζονται με το περιβάλλον στο οποίο θα πρέπει να λειτουργήσει το εν λόγω ενσωματωμένο σύστημα. Μερικοί από αυτούς είναι η θερμοκρασία, η μηχανική αντοχή και η ενεργειακή κατανάλωση. Άλλοι συχνοί περιορισμοί περιλαμβάνουν την ταχύτητα απόκρισης, ενώ πάντα κρίσιμο ρόλο έχει το μέγεθος τους και το κόστος παραγωγής τους.

Παρακάτω παρουσιάζεται μία αφαιρετική αναπαράσταση της δομής των ενσωματωμένων συστημάτων. Στη συνέχεια, θα ρίξουμε μια πιο προσεκτική ματιά στους Αισθητήρες και τους Ενεργοποιητές.



Εικόνα 2.1: Δομή Ενσωματωμένου Συστήματος

2.2.1 Αισθητήρες

Ως ερέθισμα περιγράφεται μια φυσική ποσότητα η οποία προκαλεί διέγερση ενός αισθητήρα (Sensor) ή ενός μορφομετατροπέα (Transducer). Ένας αισθητήρας ορίζεται ως μία διάταξη η οποία εκμεταλλεύομενη κάποιο φυσικό φαινόμενο μετατρέπει ένα ερέθισμα σε πληροφορία ηλεκτρικού μεγέθους. Το ερέθισμα αποτελεί την ανεξάρτητη μεταβλητή του συστήματος μέτρησης ενώ το ηλεκτρικό σήμα την εξαρτημένη μεταβλητή αυτού. Η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος

απορρέει από το φυσικό φαινόμενο μετατροπής. Η πληροφορία του ηλεκτρικού σήματος εξόδου του αισθητήρα μπορεί να πηγάζει από τη μεταβολή:

- του πλάτους του,
- της συχνότητας του,
- της φάσης του,
- ή του κύκλου εργασίας του,

Ο Μορφομετατροπέας αποτελεί μια δομή η οποία μετατρέπει ένα φυσικό φαινόμενο σε ηλεκτρική πληροφορία μέσω μιας σειράς ενεργειακών μεταβολών. Ένας μορφομετατροπέας περιέχει στη δομή του ένα ή περισσότερους αισθητήρες. Οι αισθητήρες χωρίζονται σε **ενεργούς** και **παθητικούς** ανάλογα με τον τρόπο πραγματοποιούν τις μετρήσεις. Οι ενεργοί αισθητήρες προκειμένου να μετρήσουν το φυσικό μέγεθος πρέπει να διεγείρουν το περιβάλλον τους. Αντιθέτως, οι παθητικοί αισθητήρες μπορούν να μετρήσουν απευθείας το φυσικό μέγεθος χωρίς κάποια ενδιάμεση διαδικασία. Οι ενεργοί αισθητήρες είναι ικανοί να παράγουν το ηλεκτρικό σήμα ως απόκριση από το ίδιο το φυσικό φαινόμενο και δεν απαιτούν εξωτερική ηλεκτρική ισχύ για τη λειτουργία τους. Στην αντίπερα όχθη, οι παθητικοί αισθητήρες χρειάζονται μόνιμη εξωτερική τροφοδοσία προκειμένου να μπορούν να παράγουν το ηλεκτρικό σήμα εξόδου. Οι αισθητήρες, επιπλέον, χωρίζονται σε **απόλυτους** και **σχετικούς** ανάλογα με την αναφορά μέτρησης που έχουν. Οι απόλυτοι αισθητήρες παράγουν σήμα το οποίο αντιστοιχεί σε ακριβή φυσική ποσότητα και είναι ανεξάρτητο από τις συνθήκες μέτρησης, όπως στην περίπτωση του ηλεκτρονικού γυροσκοπίου, ενώ οι σχετικοί αναφέρονται σε μια ειδική κλίμακα τιμών όπως στην περίπτωση του μανομέτρου. Η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα κατά τη φάση σχεδίασης ενός ενσωματωμένου συστήματος παίζει καθοριστικό ρόλο στην απόδοσή του. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές από τις βασικότερες παραμέτρους τους:

- **Κλίμακα:** Η κλίμακα εισόδου ορίζεται ως το πεδίο τιμών του ερεθίσματος που δέχεται ο αισθητήρας στην είσοδό του. Το εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου ορίζεται ως η αλγεβρική διαφορά μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης τιμής της κλίμακας εισόδου του αισθητήρα. Παρόμοια, το εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου αναφέρεται στην αλγεβρική διαφορά του μέγιστου και ελάχιστου ηλεκτρικού σήματος εξόδου που παράγει ο αισθητήρας σε όλο το εύρος της κλίμακας εισόδου.
- **Ακρίβεια:** Η ακρίβεια ενός αισθητήρα καθορίζεται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης του. Αναφέρεται δε στη διαφορά που παρουσιάζει το σήμα εξόδου από την πραγματική τιμή. Παρ' όλα αυτά επειδή ποτέ δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την πραγματική τιμή του μεγέθους που επιχειρούμε να μετρήσουμε, αποδίδουμε την ακρίβεια με βάση το σχετικό σφάλμα.
- **Υστέρηση:** Πολλοί αισθητήρες δεν επιστρέφουν την ίδια τιμή σήματος εξόδου όταν το ερέθισμα εισόδου υπόκειται σε παλινδρόμηση μεταξύ δύο σημείων του μεγέθους. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται υστέρηση. Πρόκειται για ένα είδος μνήμης του συστήματος-αισθητήρα καθώς μπορεί να διαχωρίζει αν το μετρούμενο ερέθισμα παρουσιάζει αύξηση ή μείωση. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι σταθερό, ενώ συνήθως εξαρτάται από τον χρόνο χρήσης του αισθητήρα ο οποίος προκαλεί εσωτερικές φθορές στη δομή του.

- **Σφάλμα επαναληψιμότητας:** Όταν ένας αισθητήρας, που εκτίθεται στο ίδιο ερέθισμα σε δύο χρονικές στιγμές παράγει διαφορετικό σήμα εξόδου, λέμε ότι παρουσιάζει σφάλμα επαναληψιμότητας. Αυτό το σφάλμα συνήθως αντιμετωπίζεται με μεθόδους κινητού μέσου.
- **Γραμμικότητα:** Οι αισθητήρες συχνά χρησιμοποιούνται ως μηχανισμοί ανατροφοδότησης σε συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Για τον απλούστερο σχεδιασμό αυτών είναι επιθυμητό να παρουσιάζουν γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδό τους. Πολλές φορές όμως λόγω κατασκευής, θορύβου και άλλων εξωτερικών παραγόντων οι αισθητήρες αποκλίνουν από τη θεωρητική γραμμική τους συμπεριφορά. Αυτή την απόκλιση την ονομάζουμε σφάλμα μη γραμμικότητας.
- **Διακριτική Ικανότητα:** Ως διακριτική ικανότητα ορίζεται η μικρότερη ανιχνεύσιμη μεταβολή του μετρήσιμου φυσικού μεγέθους. Μεταβολές μικρότερες της διακριτικής ικανότητας του αισθητήρα εμφανίζουν το ίδιο σήμα μέτρησης στην έξοδό του.
- **Κορεσμός:** Ο κορεσμός σχετίζεται άμεσα με την κλίμακα εισόδου και έχει ως αποτέλεσμα οι αισθητήρες να χάνουν της διακριτική τους ικανότητα εκτός του μετρήσιμου πεδίου τιμών τους. Όσο απομακρυνόμαστε από κλίμακα εισόδου, ισόποσες καταβολές του ερεθίσματος προκαλούν προοδευτικά ολοένα και μικρότερες μεταβολές στην έξοδο, μέχρι που αυτή ασυμπτωτικά σταθεροποιείται σε μια τιμή, που ονομάζεται τιμή κορεσμού.
- **Νεκρή Ζώνη:** Είναι μια περιοχή τιμών της κλίμακας εισόδου γύρω από το σημείο ισορροπίας του αισθητήρα όπου δεν είναι δυνατή η ανίχνευση ερεθισμάτων.
- **Χρόνος απόκρισης:** Κατά τη μέτρηση ενός φυσικού μεγέθους εμπλέκονται μεταβατικά φαινόμενα τα οποία αποσταθεροποιούν την έξοδο του αισθητήρα. Χρόνος απόκρισης ονομάζεται η διάρκεια από την αλλαγή του ερεθίσματος εισόδου μέχρι τη στιγμή που η έξοδος του αισθητήρα θα έχει σταθεροποιηθεί ικανοποιητικά κοντά στην τελική της τιμή.

2.2.2 Ενεργοποιητές

Οι ενεργοποιητές αποτελούν το δυαδικό ισοδύναμο των αισθητήρων. Είναι δηλαδή συστήματα τα οποία δέχονται στην είσοδό τους κάποιας μορφής ενέργεια και τη χρησιμοποιούν ώστε να μεταβάλλουν κάποιο φυσικό μέγεθος στο περιβάλλον τους. Σε αντίθεση με τους αισθητήρες, οι ενεργοποιητές δεν συναντώνται μόνοι τους αλλά σχεδόν πάντα αποτελούν τμήμα ενός ευρύτερου συστήματος αυτομάτου ελέγχου, το οποίο μέσω της ανατροφοδότησης κατάλληλων αισθητήρων κατευθύνει τη λειτουργία τους στα επιτρεπτά όρια. Στα ενσωματωμένα συστήματα οι ενεργοποιητές δέχονται στην είσοδο τους ηλεκτρική ενέργεια και τη μετατρέπουν κυρίως σε μία εκ των παρακάτω μορφών εξόδου:

- **Φως:** Ως στόχο τους έχουν τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε φωτεινή ακτινοβολία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι φωτοдиодοι (LEDs).



- **Θερμότητα:** Κατά βάση σε κάθε μετατροπή ενέργειας υπάρχουν απώλειες θερμότητας. Αυτές οι απώλειες σχετίζονται με την απόδοση του ενεργοποιητή. Όμως στο συγκεκριμένο τύπο ενεργοποιητών, η παραγωγή θερμότητας θεωρείται το ωφέλιμο έργο
- **Μηχανικό Έργο:** Οι ενεργοποιητές έργου στη βάση τους στηρίζονται στο ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο προκειμένου να μετατρέψουν την ηλεκτρική ενέργεια σε περιστροφική μέσω των μεταβαλλόμενων μαγνητικών πεδίων που δημιουργούνται στους κινητήρες. Έπειτα μέσω μηχανισμών μετάδοσης κίνησης η περιστροφή των κινητήρων μπορεί να μεταφραστεί σε άλλες μορφές έργου. Στους γραμμικούς ενεργοποιητές ο μηχανισμός μετάδοσης γίνεται μέσω κατάλληλων γραναζιών, ενώ στα υδραυλικά συστήματα οι κινητήρες χρησιμοποιούνται ως αντλίες, όπου μέσω ασυμπίεστης αρχής των υγρών μπορούν να μεταδώσουν το έργο και ταυτόχρονα να πολλαπλασιάζει τη δύναμη εξόδου τους.

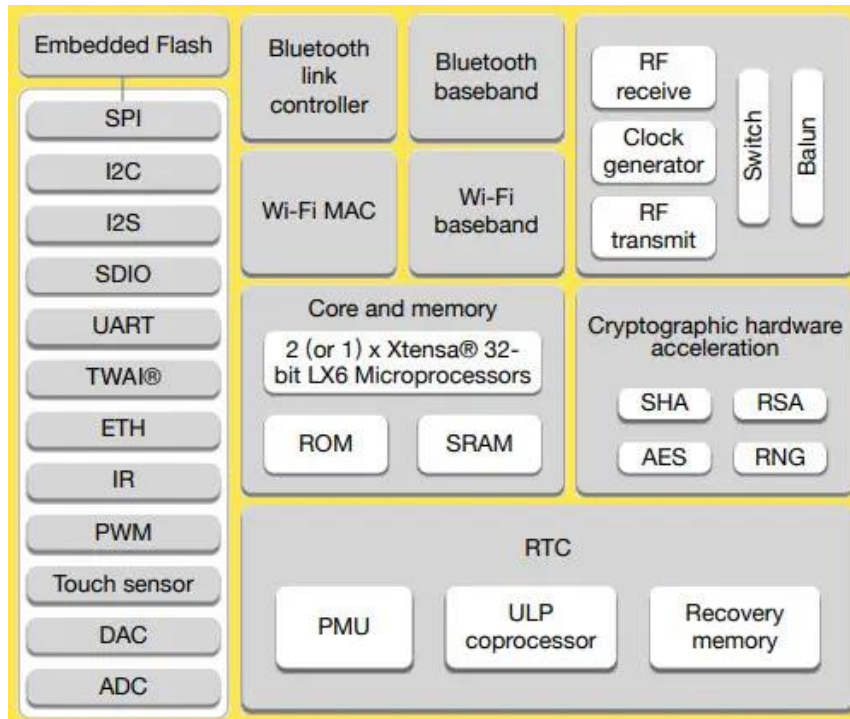
Όπως και στους αισθητήρες και οι ενεργοποιητές χαρακτηρίζονται από κάποιες μετρικές ανάλογα με το πόσο καλά επιτυγχάνουν τον σκοπό τους. Οι πιο βασικές είναι:

- **Ισχύς:** Αναφέρεται στην ποσότητα έργου που μπορεί να παράξει ο συγκεκριμένος ενεργοποιητής, το οποίο αντανακλά άμεσα στην ποσότητα ενέργειας που μπορεί να δεχτεί και να διαχειριστεί στην είσοδο του. Σε κάθε σχεδίαση πρέπει να γίνει σωστή διαστασιολόγηση των απαιτήσεων προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ένας ενεργοποιητής ο οποίος αφενός θα μπορεί να ανταπεξέρχεται στις ανάγκες της εν λόγω εφαρμογής και αφετέρου δε θα κινδυνεύει να αυτοκαταστραφεί λόγω υπερβολικής καταπόνησης.
- **Απόδοση:** Αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής της ενέργειας εισόδου στη μορφή της ενέργειας εξόδου. Εκφράζεται ως ο λόγος των δύο αυτών ποσοτήτων και αντιστοιχεί στο ποσοστό της ενέργειας εισόδου που μετατρέπεται σε άλλες μη χρήσιμες μορφές ενέργειας για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, όπως η θερμότητα λόγω εσωτερικών τριβών σε έναν κινητήρα. Είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος στις εφαρμογές χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.
- **Γραμμικότητα:** Η γραμμικότητα εκφράζει ποιοτικά την ίδια έννοια με αυτή στους αισθητήρες. Αναφέρεται στο αν η μετατροπή ενέργειας εισόδου - εξόδου είναι αναλογική. Οι μη γραμμικοί ενεργοποιητές απαιτούν τη χρήση πιο πολύπλοκων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

2.2.3 Μικροελεγκτής

Ο μικροελεγκτής είναι μια συμπαγής, αυτόνομη υπολογιστική συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί συγκεκριμένες εργασίες σε ενσωματωμένα συστήματα. Ενσωματώνει πολλά βασικά στοιχεία σε ένα μόνο τσιπ, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν αποτελεσματικό έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Τα κύρια στοιχεία ενός μικροελεγκτή περιλαμβάνουν την κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), η οποία εκτελεί εντολές και ελέγχει λειτουργίες, την μνήμη, αποτελούμενη από ROM/Flash για την αποθήκευση του κώδικα προγράμματος και RAM για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων και θύρες εισόδου/εξόδου (I/O), που επιτρέπουν την επικοινωνία με εξωτερικές συσκευές, όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές ή οθόνες. Οι μικροελεγκτές διαθέτουν

επίσης χρονομετρητές και μετρητές για ακριβείς λειτουργίες χρονισμού, αναλογικούς-ψηφιακούς μετατροπείς (ADC) για την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων και διεπαφές επικοινωνίας όπως UART, SPI ή I2C για εξωτερική επικοινωνία. Η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το συμπαγές τους μέγεθος και η οικονομική τους αποδοτικότητα καθιστούν τους μικροελεγκτές απαραίτητους σε συσκευές IoT, συστήματα αυτοκινήτων και αμέτρητες άλλες εφαρμογές.



Εικόνα 2.2: Αρχιτεκτονική Πυρήνα ESP32

Παραπάνω φαίνονται οι προδιαγραφές του μικροελεγκτή ESP32-WROOM-32 της Espressif με βάση τον οποίο έγινε η υλοποίηση του κόμβου αποστολής των δεδομένων και της γέφυρας μεταφοράς των δεδομένων από LoRa στο Internet. Πέρα από το χαμηλό κόστος του, ο ESP32 παρουσιάζει ένα πολύ πλούσιο σετ από περιφερειακά. Μέσα στο SoC, ενσωματώνει δυνατότητες WiFi&Bluetooth και περιέχει 2 πυρήνες που τρέχουν στα 240MHz, καθιστώντας τον ικανό να ανταπεξέλθει σε απαιτητικές εργασίες. Παράλληλα έχει ειδικό υλικό για επιτάχυνση κρυπτογραφικών πράξεων (SHA, AES κλπ.). Τέλος περιέχει πυρήνα για εκτέλεση πράξεων σε κατάσταση βαθύ ύπνου, καταστέλλοντας όλες τις ανώτερες λειτουργίες, με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Παρατηρώντας όλες τις δυνατότητες που έχει ο ESP32, όπως αντίστοιχα έχουν και άλλοι μικροελεγκτές διαφορετικών οικογενειών, μπορεί κανείς να καταλάβει γιατί αποτελούν την πλέον θεμελιώδη μονάδα οποιουδήποτε ενσωματωμένου συστήματος. Ο κατασκευαστής με ένα μικροσκοπικό chip μπορεί πλέον να προσαρτήσει τεράστια λειτουργικότητα στο σύστημα. Βέβαια για να είναι μια σχεδίαση επιτυχημένη, πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος μικροελεγκτής για την συγκεκριμένη εφαρμογή ώστε να αξιοποιηθεί στο μέγιστο βαθμό χωρίς να σπαταλώνται παραπάνω πόροι.

2.3 Το «Πράγμα» (Thing)

Στο πλαίσιο του Διαδικτύου των Πραγμάτων (IoT), ένα «πράγμα» αναφέρεται σε κάθε φυσικό αντικείμενο που είναι ενσωματωμένο με αισθητήρες, ενεργοποιητές, επεξεργαστές και τεχνολογίες επικοινωνίας, επιτρέποντάς του να συλλέγει, να επεξεργάζεται και να ανταλλάσσει δεδομένα μέσω ενός δικτύου. Αυτά τα «πράγματα» μπορεί να κυμαίνονται από καθημερινές καταναλωτικές συσκευές, όπως έξυπνες οικιακές συσκευές και φορητές συσκευές παρακολούθησης της φυσικής κατάστασης, μέχρι βιομηχανικά μηχανήματα, γεωργικό εξοπλισμό και οχήματα. Ένα «πράγμα» στο IoT χαρακτηρίζεται από την ικανότητά του να αλληλοεπιδρά με το περιβάλλον του, να λαμβάνει αποφάσεις και να παρέχει πληροφορίες ή αυτοματισμούς, συμβάλλοντας στο διασυνδεδεμένο οικοσύστημα συσκευών που ορίζουν το IoT.

Επομένως τα «πράγματα», είναι ουσιαστικά ενσωματωμένα συστήματα εξοπλισμένα με αισθητήρες, ενεργοποιητές, μικροελεγκτές, μονάδες επικοινωνίας και λογισμικό για την εκτέλεση ειδικών λειτουργιών, συχνά με περιορισμούς πραγματικού χρόνου. Αυτό που διαφοροποιεί τα «πράγματα» του IoT από τα παραδοσιακά ενσωματωμένα συστήματα είναι η ικανότητά τους να συνδέονται στο διαδίκτυο ή σε ένα δίκτυο, καθιστώντας τα μέρος ενός μεγαλύτερου, διασυνδεδεμένου οικοσυστήματος.

2.4 IoT Δίκτυα

Στην ουσία, ένα δίκτυο IoT λειτουργεί με τη δημιουργία συνδέσεων μεταξύ συσκευών, αισθητήρων και συστημάτων για τη διευκόλυνση της ανταλλαγής δεδομένων, την εκτέλεση αναλύσεων και τη δημιουργία αξιοποιήσιμων πληροφοριών. Ας δούμε τα κύρια συστατικά στοιχεία με περισσότερες λεπτομέρειες.

- Οι αισθητήρες αποτελούν το θεμέλιο κάθε συστήματος IoT. Χρησιμοποιούνται στα δίκτυα IoT για τη συλλογή δεδομένων σε συγκεκριμένες τοποθεσίες ή από συγκεκριμένες πηγές. Οι αισθητήρες IoT είναι συνήθως μικροί, οικονομικά αποδοτικοί, εξαιρετικά διαμορφώσιμοι και ικανοί να παρακολουθούν ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών. Για παράδειγμα, μπορούν να μετρούν τα επίπεδα υγρασίας, να παρακολουθούν τη γεωγραφική θέση, να καταγράφουν τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, να ανιχνεύουν την κίνηση, να παρακολουθούν τις ηλεκτρικές συνθήκες, να παρακολουθούν τη δραστηριότητα του συμπειστή και πολλά άλλα.
- Συνδεσιμότητα IoT: Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους αισθητήρες μεταδίδονται στο σύννεφο ή σε μια συσκευή υπολογιστών ακμής για επεξεργασία. Η επιλογή της συνδεσιμότητας εξαρτάται από τους συγκεκριμένους στόχους του συστήματος. Όταν η χαμηλή καθυστέρηση και οι γρήγοροι χρόνοι απόκρισης είναι ζωτικής σημασίας, μπορεί να προτιμηθεί η υπολογιστική ακμής, καθώς μειώνει την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του διακομιστή. Μεταξύ των διαφόρων επιλογών ασύρματης συνδεσιμότητας, το WiFi και η κινητή τηλεφωνία είναι οι πιο δημοφιλείς επιλογές. Παρακάτω διερευνούμε όλες τις διαθέσιμες επιλογές.

- Επεξεργασία IoT: Μόλις τα δεδομένα φτάσουν στο σύννεφο ή σε έναν διακομιστή άκρης, υποβάλλονται σε ανάλυση μέσω εξειδικευμένου λογισμικού και στη συνέχεια αποθηκεύονται. Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιείται συνήθως με τη βοήθεια αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης (AI) και μηχανικής μάθησης (ML). Αυτοί οι αλγόριθμοι βοηθούν στον εντοπισμό ανωμαλιών και αποκλίσεων από τα συνήθη πρότυπα, ενεργοποιώντας ενέργειες ή ειδοποιήσεις.
- ΔιεπαφήIoT: Η διεπαφήIoT μπορεί να είναι μια διεπαφήbackend μέσω της οποίας μπορεί να ελεγχθεί ολόκληρο το δίκτυο IoT. Οι διαχειριστές δημιουργούν κανόνες υπό όρους που υπαγορεύουν τις διαδικασίες παρακολούθησης και αυτοματοποίησης. Καθορίζοντας αυτούς τους κανόνες, διασφαλίζουν ότι το δίκτυο IoT λειτουργεί σύμφωνα με προκαθορισμένες παραμέτρους, επιτρέποντας την αποτελεσματική διαχείριση και τον έλεγχο.

Τα δίκτυα IoT μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με την τοπολογία και την τεχνολογία επικοινωνίας τους όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

	Cellular	Local Area Network (LAN/PAN)	Low Power Wide Area Networks (LPWAN)	Mesh Protocols
	LTE-M, NB-IoT, 3G, 4G, LTE-M	Bluetooth (BLE), WiFi	LoRaWAN, Sigfox	Zigbee, RFID
DATA RATE	~100 kbps - 100 mbps	~100 kbps - 100 mbps	~10 kbps	~250 kbps
RANGE	Long	Short	Long	Short
BATTERY LIFE	Medium	Medium	Long	Long
USE CASES	Traditional M2M	Building & In-home	Wide-area IoT projects	Wide-area IoT projects
	<ul style="list-style-type: none"> Traditional communication Smart agriculture Asset management 	<ul style="list-style-type: none"> Wearables WiFi Smart home Bluetooth 	<ul style="list-style-type: none"> Location Smart City Asset tracking Metering 	<ul style="list-style-type: none"> Lighting management Metering HVAC control

Εικόνα 2.3: Κατηγορίες Ασύρματων Δικτύων

2.3.1 Cellular

Τόσο το LTE-M όσο και το NB-IoT ανήκουν στα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) και μπορούν να λειτουργήσουν σε ζώνη 4G. Αυτά τα ανοιχτά πρότυπα εισήχθησαν και τα δύο από το 3GPP (3rd Generation Partnership Project) και έχουν σχεδιαστεί για αξιόπιστες, ασφαλείς λειτουργίες χαμηλής ισχύος, αλλά διαφέρουν ως προς τη συχνότητα, το εύρος, την ασφάλεια, το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, θεωρούνται μια από τις πιο δημοφιλείς λύσεις για το IoT, καθώς μπορούν να καλύψουν μεγάλες περιοχές.

Όντας μια σταθερή λύση στην αγορά των κινητών καταναλωτών, έχουν εξελιχθεί, παρέχοντας αξιόπιστη και υψηλού εύρους ζώνης συνδεσιμότητα IoT. Μέχρι το 2026, το NB-IoT και το LTE-M θα καλύπτουν πάνω από το 60% των 3,6 δισεκατομμυρίων συνδέσεων δικτύου LPWA.

2.3.1.1 LTE-M

Το LTE-M είναι επίσης γνωστό ως Cat-M1, είναι ένα πρότυπο ραδιοτεχνολογίας που επιτρέπει την επαναχρησιμοποίηση των εγκατεστημένων βάσεων LTE και είναι βελτιστοποιημένο για υψηλότερο εύρος ζώνης και κινητές συνδέσεις, συμπεριλαμβανομένης της φωνής μέσω του δικτύου. Απαιτεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης και είναι πιο δαπανηρό από το NB-IoT, αλλά υποστηρίζει μαζική πυκνότητα σύνδεσης και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας των συσκευών.

Από την άλλη πλευρά, το πρότυπο LTE-M είναι λίγο πιο ακριβό σε σύγκριση με το NB-IoT, καθώς απαιτεί μια πύλη.

Περιπτώσεις χρήσης του LTE-M είναι η παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων, wearables, ιατρικές εφαρμογές, POS και εφαρμογές οικιακής ασφάλειας.

2.3.1.2 NB - IoT

Το NB-IoT, επίσης γνωστό ως Cat-NB1, είναι ένα πρωτόκολλο IoT στενής ζώνης που απαιτεί μικρότερο κόστος και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας μπαταρίας, ωστόσο δεν χρησιμοποιεί το παραδοσιακό φυσικό στρώμα LTE αλλά τα ήδη καθιερωμένα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Σε σύγκριση με το LTE-M, δεν έχει πλήρη υποστήριξη κινητικότητας, αλλά υποστηρίζει επίσης τεράστιο αριθμό συνδέσεων. Παρέχει επίσης καλύτερη εσωτερική και υπόγεια κάλυψη από το LTE-M.

Το NB-IoT είναι φθηνότερο επειδή οι συσκευές του έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και δεν χρειάζονται πύλη (τα δεδομένα των αισθητήρων αποστέλλονται απευθείας στον πρωτεύοντα διακομιστή).

Περιπτώσεις χρήσης NB-IoT είναι η διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, διαχείριση στόλου (logistics), έξυπνη μέτρηση, συνδεδεμένη γεωργία και έξυπνος ψεκασμός, καθώς και εφαρμογές έξυπνης πόλης.

2.3.2 LAN/PAN

Τα τοπικά δίκτυα και τα δίκτυα προσωπικής περιοχής (LAN/PAN) είναι οικονομικά αποδοτικά, ωστόσο η μετάδοση δεδομένων είναι περιορισμένη λόγω του τοπικού περιβάλλοντος. Το WiFi και το Bluetooth ανήκουν σε αυτή την κατηγορία και χρησιμοποιούνται συνήθως για λύσεις συνδεσιμότητας IoT.

2.3.2.1 Bluetooth

Με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλής ισχύος, οι συσκευές με δυνατότητα Bluetooth σε συνδυασμό με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές μεταφέρουν δεδομένα στο cloud. Ναι, μπορείτε να τα δείτε να ενσωματώνονται ευρέως σε ιατρικά και fitness trackers, έξυπνες οικιακές συσκευές τα δεδομένα των οποίων μεταδίδονται σε smartphones.

Η ιδανική περίπτωση χρήσης για τη χρήση συσκευών BLE είναι ο κλάδος του λιανικού εμπορίου. Χρησιμοποιούνται για την αύξηση της εμπειρίας των πελατών στο κατάστημα και των αγοραστικών αποφάσεων μέσω στοχευμένου περιεχομένου που ενεργοποιείται μέσω beacon στα smartphones τους (πλοήγηση στο κατάστημα, ειδικές προσφορές, εκπτώσεις, εκδηλώσεις κ.λπ. που αποστέλλονται στους πελάτες που βρίσκονται σε γεωγραφική εγγύτητα).

Περιπτώσεις χρήσης Bluetooth είναι η παρακολούθηση φυσικής κατάστασης, beacons, συσκευές οικιακού αυτοματισμού.

2.3.2.2 WiFi

Το Wi-Fi είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία τοπικού δικτύου (LAN) στο IoT, η οποία παρέχει ασύρματη επικοινωνία υψηλής ταχύτητας, μικρής έως μεσαίας εμβέλειας. Λειτουργεί σε μια περιορισμένη περιοχή, όπως ένα σπίτι, ένα γραφείο ή ένα κτίριο, και χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές IoT που απαιτούν αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων υψηλού εύρους ζώνης. Στο πλαίσιο των δικτύων προσωπικής περιοχής (PAN), το Wi-Fi συνδέει πολλαπλές προσωπικές συσκευές σε μια μικρότερη, εντοπισμένη περιοχή, όπως η σύνδεση smartphones, smartwatches και φορητών υπολογιστών. Χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

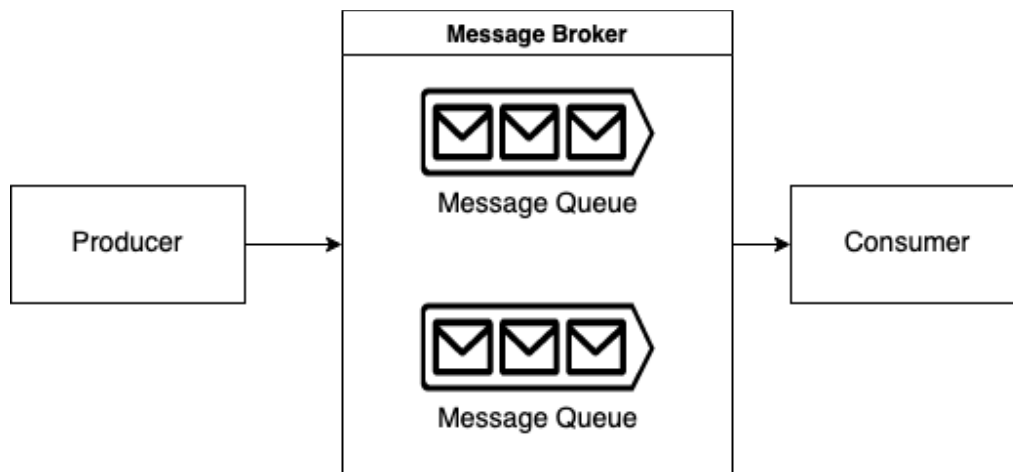
- Υψηλό εύρος ζώνης: Ιδανικό για εφαρμογές όπως η ροή βίντεο (π.χ. έξυπνες κάμερες) ή η μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Εύκολη ενσωμάτωση: Οι περισσότερες συσκευές IoT έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν απρόσκοπτα με την υπάρχουσα υποδομή Wi-Fi.
- Αμφίδρομη επικοινωνία: Επιτρέπει την παρακολούθηση και τον έλεγχο σε πραγματικό χρόνο, όπως στα έξυπνα σπίτια ή στον βιομηχανικό αυτοματισμό.
- Τυποποιημένα πρωτόκολλα: Χρησιμοποιεί τα πρότυπα IEEE 802.11, εξασφαλίζοντας συμβατότητα μεταξύ των συσκευών.

Το WiFi προσφέρει υψηλή ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, ευρεία διαθεσιμότητα και δυνατότητα ταυτόχρονης διαχείρισης πολλαπλών συσκευών σε περιορισμένη εμβέλεια σε σύγκριση με τεχνολογίες όπως το LPWAN. Γενικά, υπερέρχει σε σενάρια όπου η ισχύς δεν αποτελεί περιορισμό και η επικοινωνία υψηλής ταχύτητας και μικρής εμβέλειας είναι απαραίτητη, καθιστώντας το ακρογωνιαίο λίθο των δικτύων LAN/PAN IoT.

2.3.2.2.1 MessageBroking& MQTT

Η διαμεσολάβηση μηνυμάτων (MessageBroking) στο IoT αναφέρεται στη διαδικασία διαχείρισης της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών, εφαρμογών και συστημάτων διευκολύνοντας την ανταλλαγή μηνυμάτων μέσω ενός κεντρικού διαμεσολαβητή, τον “Μεσίτη” (Broker). Αποτελεί κρίσιμο στοιχείο στις αρχιτεκτονικές του IoT, επιτρέποντας την απρόσκοπτη και αποτελεσματική επικοινωνία σε συστήματα με πολλαπλές, διασυνδεδεμένες συσκευές. Ένας μεσίτης μηνυμάτων ενεργεί ως μεσάζων μεταξύ εκδοτών και συνδρομητών. Εξασφαλίζει ότι τα μηνύματα δρομολογούνται στους κατάλληλους συνδρομητές με βάση τις συνδρομές τους σε θέματα. Οι δημοφιλείς διαμεσολαβητές μηνυμάτων IoT περιλαμβάνουν τους Mosquitto, EMQX και HiveMQ.

Κοινά πρωτόκολλα όπως το MQTT, το AMQP και το CoAP χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της διαμεσολάβησης μηνυμάτων στο IoT. Το MQTT είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο λόγω της ελαφράς φύσης του και της αποδοτικής απόδοσής του. Το MQTT (MessageQueuingTelemetry Transport) είναι ένα ελαφρύ πρωτόκολλο ανταλλαγής μηνυμάτων που χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές IoT για αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ συσκευών. Όταν συνδυάζεται με Wi-Fi, γίνεται ένας ισχυρός συνδυασμός για συστήματα IoT που απαιτούν αξιόπιστη επικοινωνία χαμηλής καθυστέρησης σε τοπικά ή συνδεδεμένα στο διαδίκτυο περιβάλλοντα.



Εικόνα 2.4: Αρχιτεκτονική Μεσιτών (Brokers)

Κατά το MQTT, οι συσκευές (πελάτες) επικοινωνούν μέσω ενός κεντρικού διαμεσολαβητή (διακομιστή). Οι συσκευές δημοσιεύουν μηνύματα σε συγκεκριμένα θέματα και οι συνδρομητές λαμβάνουν μόνο μηνύματα σχετικά με τα θέματα στα οποία έχουν εγγραφεί. Το Wi-Fi παρέχει το υποκείμενο δίκτυο για την επικοινωνία MQTT, επιτρέποντας στις συσκευές να συνδέονται ασύρματα με τον μεσίτη. Τα μηνύματα MQTT μεταδίδονται μέσω TCP/IP μέσω της σύνδεσης Wi-Fi, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη παράδοση μηνυμάτων. Το Wi-Fi επιτρέπει τη γρήγορη μεταφορά δεδομένων, καθιστώντας το MQTT εξαιρετικά ευέλικτο, ειδικά για εφαρμογές ευαίσθητες στο χρόνο, όπως ο έξυπνος οικιακός έλεγχος ή η βιομηχανική παρακολούθηση.

2.3.3 MeshProtocols

Λόγω της χωρητικότητας μικρής εμβέλειας, τα πρωτόκολλα Mesh αποτελούν εξαιρετικές λύσεις για έργα IoT μεσαίας εμβέλειας με μεταφορές δεδομένων σε κοντινή απόσταση. Στα δίκτυα Mesh, η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων αισθητήρων διεξάγεται με καταναμημένο τρόπο για να φτάσει στην απόδραση, η οποία είναι η αντίθετη προσέγγιση της μεταφοράς δεδομένων στον κεντρικό κόμβο.

Τα πρωτόκολλα πλέγματος είναι ισχυρές και δημοφιλείς λύσεις για χρήση εντός κτιρίων και οδικών δικτύων, όπως ο έξυπνος αυτοματισμός κτιρίων (έξυπνος φωτισμός, λειτουργίες HVAC, ασφάλεια και έλεγχος ενέργειας κ.λπ.), ο φωτισμός των δρόμων μιας πόλης.

2.3.3.1 Zigbee

Το Zigbee είναι ένα από τα πιο γνωστά πρωτόκολλα πλέγματος που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές IoT. Σε σύγκριση με το LPWAN, το Zigbee παρέχει μεγαλύτερες μεταφορές δεδομένων με πολύ μικρότερη ενεργειακή απόδοση λόγω της διαμόρφωσης της συνδεσιμότητάς του. Με τις λύσεις χαμηλού κόστους και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας του Zigbee, οι εφαρμογές μπορούν να λειτουργήσουν με φθηνές μπαταρίες για δέκα χρόνια.

Η διασυνδεσιμότητα του δικτύου Zigbee επιτρέπει τη σύνδεση κάθε συσκευής με το σήμα που το μεταφέρει στις άλλες συσκευές μέσω ενός δικτύου πλέγματος. Ο κίνδυνος αποτυχίας σήματος σε ένα σημείο εξαλείφεται λόγω της ικανότητας των συσκευών Zigbee να αυξάνουν τις διαδρομές επικοινωνίας που διευκολύνουν τη διαλειτουργικότητα και την απρόσκοπτη σύνδεση με διαφορετικούς προμηθευτές. Τέλος, ένα ακόμη ξεχωριστό χαρακτηριστικό αυτού του πρωτοκόλλου έγκειται στη διαθεσιμότητα της μη αδειοδοτημένης χρήσης του παντού στον κόσμο.

Περιπτώσεις χρήσης Zigbee είναι η αυτόματη ανάγνωση μετρητών, η παρακολούθηση δεξαμενών, ο έξυπνος έλεγχος HVAC, η διαχείριση ιατρικών συσκευών και η διαχείριση φωτισμού.

2.3.4 LPWAN

Τα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής ισχύος (LPWAN) είναι ένα νέο σύνολο ασύρματων πρωτοκόλλων που μπορούν κυριολεκτικά να συνδέσουν όλους τους τύπους αισθητήρων IoT και να διευκολύνουν πολυάριθμες εφαρμογές που έχουν κατασκευαστεί ειδικά για την υποστήριξη εκτεταμένων έργων IoT. Τα δίκτυα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από συσκευές για την επικοινωνία σε μεγάλες περιοχές με τη βοήθεια μικρών φθηνών μπαταριών με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Σε σύγκριση με τα κυψελοειδή δίκτυα, τα LPWAN αποτελούν μια οικονομικά αποδοτική και μακροπρόθεσμη λύση.

Φαίνεται ότι τα LPWANs είναι μεταξύ των καλύτερων δικτύων- ωστόσο, καθώς κάθε δίκτυο έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του, το μειονέκτημα του LPWAN έγκειται στις μικρές ποσότητες δεδομένων που μπορεί να στείλει σε μία μόνο περίπτωση, έτσι ώστε να μπορεί να είναι κατάλληλο για περιπτώσεις χρήσης χωρίς μεγάλο εύρος ζώνης.

2.3.4.1 Sigfox

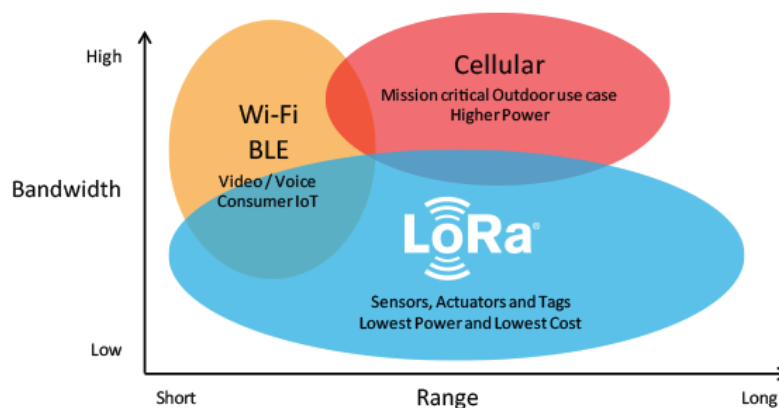
Όσον αφορά την εμβέλεια, οι δυνατότητες του Sigfox είναι μεταξύ Wi-Fi και κυψελοειδούς. Η Sigfox δεν χρειάζεται να αποκτήσει άδειες λόγω των ζωνών συχνοτήτων ISM που χρησιμοποιεί (βιομηχανικές, επιστημονικές και ιατρικές).

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία UNB (UltraNarrowBand), το κύριο μέλημα της Sigfox είναι η διαχείριση χαμηλών ταχυτήτων μεταφοράς δεδομένων με εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενώ επιπλέον το δίκτυο αυτό είναι σε θέση να επικοινωνεί με εκατομμύρια συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία σε απόσταση 30-50 χιλιομέτρων.

Παραδείγματα περιπτώσεων χρήσης Sigfox είναι οι έξυπνες πόλεις με τα έξυπνα κτίρια με σκοπό την παρακολούθηση του νερού, την παρακολούθηση της χρήσης του χώρου, την παρακολούθηση περιουσιακών στοιχείων και έξυπνων συσκευών από απόσταση.

2.3.4.2 LoRa&LoRaWAN

Το LoRa (LongRange) είναι μια τεχνολογία επικοινωνιών χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, δικτύου ευρείας περιοχής (LPWAN), σχεδιασμένη για εφαρμογές IoT που απαιτούν συνδεσιμότητα μεγάλης εμβέλειας με ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας. Χρησιμοποιεί διαμόρφωση διασκορπισμένου φάσματος που προέρχεται από το ChirpSpreadSpectrum (CSS), επιτρέποντας την ισχυρή επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ καταναλώνει πολύ λίγη ενέργεια. Το LoRa αποτελεί το φυσικό επίπεδο (PHY), ενώ η στοίβα δικτύωσης υλοποιείται στο LoRaWAN, ένα πρωτόκολλο για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών IoT και πυλών.



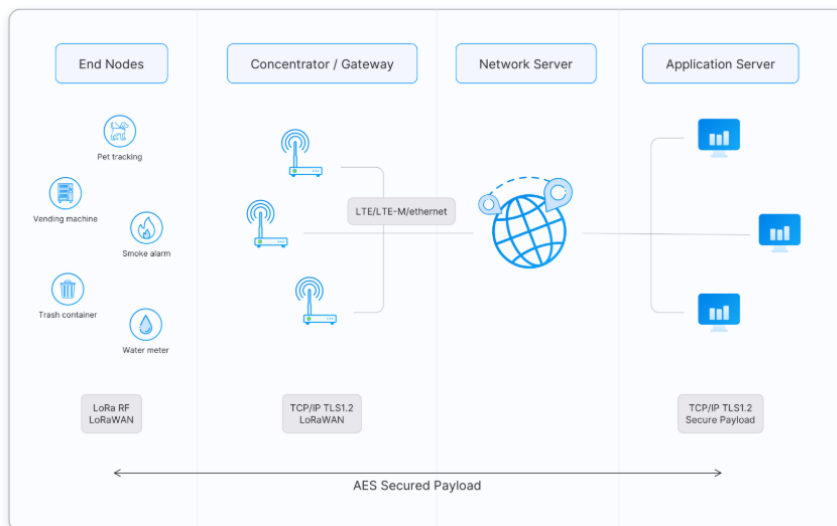
Εικόνα 2.5: Ασύρματα Δίκτυα βάση Απόσταση - Εύρους Ζώνης

Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας LoRa είναι ότι μπορεί να επιτύχει εμβέλεια επικοινωνίας έως και 15-20 χιλιόμετρα σε αγροτικές περιοχές και 2-5 χιλιόμετρα σε αστικό περιβάλλον, ανάλογα με τα εμπόδια και το έδαφος. Έχει σχεδιαστεί για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία, με δυνατότητα λειτουργίας για χρόνια με μία μόνο μπαταρία λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Τα δίκτυα LoRa μπορούν να υποστηρίξουν χιλιάδες συσκευές σε μια ενιαία

εγκατάσταση, καθιστώντας το κατάλληλο για έξυπνες πόλεις και βιομηχανικό IoT. Το LoRa χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένες ζώνες ISM (π.χ. 868 MHz στην Ευρώπη, 915 MHz στις ΗΠΑ), μειώνοντας το λειτουργικό κόστος σε σύγκριση με τα κυψελοειδή δίκτυα.

Το LoRa χρησιμοποιεί διαμόρφωση CSS, η οποία διαχέει ένα σήμα σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης για να βελτιώσει την αντίσταση στις παρεμβολές και να αυξήσει την ευαισθησία. Επιτρέπει την υψηλή ευαισθησία του δέκτη (-137 dBm), επιτρέποντας την επιτυχή λήψη ασθενών σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις. Λειτουργεί σε μη αδειοδοτημένες ζώνες ISM: 433 MHz, 868 MHz (Ευρώπη), 915 MHz (Βόρεια Αμερική). Οι περιφερειακοί κανονισμοί υπαγορεύουν τις ακριβείς συχνότητες και τη χρήση του εύρους ζώνης. Το LoRa υποστηρίζει μεταβλητούς συντελεστές διασποράς (SF7 έως SF12) που ελέγχουν τον συμβιβασμό μεταξύ ρυθμού δεδομένων και εμβέλειας. Οι ρυθμοί δεδομένων κυμαίνονται συνήθως από 0,3 kbps έως 50 kbps, ανάλογα με τον SF και το εύρος ζώνης. Το ADR προσαρμόζει δυναμικά την ισχύ μετάδοσης και το ρυθμό δεδομένων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας και της χωρητικότητας του δικτύου. Το LoRa χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση AES-128, εξασφαλίζοντας ασφαλή επικοινωνία μεταξύ συσκευών και πυλών.

Το LoRaWAN (LongRangeWideAreaNetwork) είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας και μια αρχιτεκτονική συστήματος που βασίζεται στο φυσικό επίπεδο (PHY) του LoRa. Έχει σχεδιαστεί για τη διαχείριση της επικοινωνίας μεταξύ συσκευών IoT και πυλών σε μεγάλες αποστάσεις, διατηρώντας παράλληλα χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Το LoRaWAN επιτρέπει στις συσκευές να μεταδίδουν μικρά πακέτα δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιώντας τις μη αδειοδοτημένες ζώνες συχνοτήτων ISM, καθιστώντας το ιδανική επιλογή για δίκτυα IoT χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής (LPWAN).



Εικόνα 2.6: Αρχιτεκτονική Δικτύου LoRaWAN

Το LoRaWAN χρησιμοποιεί μια κεντρική αρχιτεκτονική όπου οι συσκευές επικοινωνούν με μία ή περισσότερες πύλες, οι οποίες προωθούν τα δεδομένα σε έναν διακομιστή δικτύου. Στη συνέχεια, ο διακομιστής επεξεργάζεται και δρομολογεί τα δεδομένα σε εφαρμογές. Υποστηρίζει μηνύματα uplink (συσκευή-προς-πύλη) και downlink (πύλη-προς-συσκευή), επιτρέποντας τον έλεγχο

και την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο. Οι συσκευές μπορούν να λειτουργούν έως και 10 χρόνια με μία μόνο μπαταρία λόγω βελτιστοποιημένης ενεργειακής απόδοσης. Οι συσκευές LoRaWAN μπορούν να μεταδίδουν δεδομένα σε αποστάσεις 2-5 km σε αστικές περιοχές και 15-20 km σε αγροτικές περιοχές. Το LoRaWAN χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση AES-128 τόσο στο επίπεδο δικτύου όσο και στο επίπεδο εφαρμογής, εξασφαλίζοντας ασφαλή επικοινωνία δεδομένων. Ένα ενιαίο δίκτυο LoRaWAN μπορεί να υποστηρίξει χιλιάδες συσκευές, καθιστώντας το κατάλληλο για εφαρμογές IoT μεγάλης κλίμακας, όπως έξυπνες πόλεις ή βιομηχανική παρακολούθηση.

Ένα τυπικό δίκτυο LoRaWAN αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία.

- Τελικές συσκευές (**EndDevices**) - αισθητήρες ή ενεργοποιητές στέλνουν διαμορφωμένα με LoRa ασύρματα μηνύματα στις πύλες ή λαμβάνουν ασύρματα μηνύματα πίσω από τις πύλες.
- Πύλες (**Gateways**) - λαμβάνουν μηνύματα από τις τελικές συσκευές και τα προωθούν στον διακομιστή δικτύου.
- Διακομιστής δικτύου (**Network Server**) - ένα κομμάτι λογισμικού που εκτελείται σε έναν διακομιστή και διαχειρίζεται ολόκληρο το δίκτυο.
- Διακομιστές εφαρμογών (**Applicationservers**) - ένα κομμάτι λογισμικού που εκτελείται σε έναν διακομιστή και είναι υπεύθυνο για την ασφαλή επεξεργασία δεδομένων εφαρμογών.

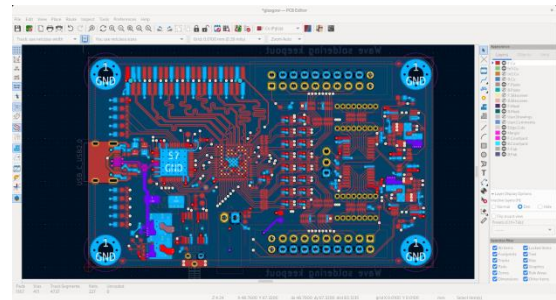
Οι τελικές συσκευές επικοινωνούν με κοντινές πύλες και κάθε πύλη είναι συνδεδεμένη με τον διακομιστή δικτύου. Τα δίκτυα LoRaWAN χρησιμοποιούν ένα πρωτόκολλο βασισμένο στο ALOHA, οπότε οι τελικές συσκευές δεν χρειάζεται να είναι ομότιμες με συγκεκριμένες πύλες. Τα μηνύματα που αποστέλλονται από τις τελικές συσκευές ταξιδεύουν μέσω όλων των πυλών εντός εμβέλειας. Τα μηνύματα αυτά λαμβάνονται από τον διακομιστή δικτύου. Εάν ο διακομιστής δικτύου έχει λάβει πολλαπλά αντίγραφα του ίδιου μηνύματος, διατηρεί ένα μόνο αντίγραφο του μηνύματος και απορρίπτει τα υπόλοιπα. Αυτό είναι γνωστό ως αποδελτίωση μηνυμάτων.

Κεφάλαιο 3ο: Προγράμματα & Υλικά

3.1 Πρόγραμμα

Λόγω της φύσης της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε πληθώρα γλωσσών προγραμματισμού καθώς και διαφορετικών εργαλείων για τη σχεδίαση των πλακετών, τη σχεδίαση της θήκης της συσκευής καθώς και το προγραμματισμό της και του Server. Παρακάτω παρουσιάζονται πιο αναλυτικά.

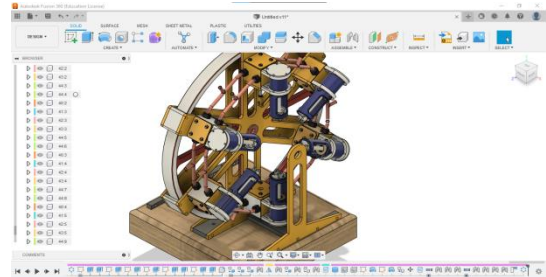
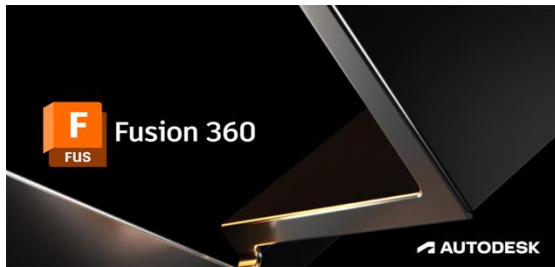
3.1.1 KiCad



Το KiCad είναι μια ισχυρή, δωρεάν και ανοικτού κώδικα σουίτα λογισμικού για την αυτοματοποίηση του ηλεκτρονικού σχεδιασμού (EDA), που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σχημάτων και το σχεδιασμό πλακετών τυπωμένων κυκλωμάτων (PCB). Παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων, συμπεριλαμβανομένου ενός επεξεργαστή σχημάτων, ενός επεξεργαστή διάταξης PCB, ενός επεξεργαστή αποτυπωμάτων και ενός 3D viewer για την απόδοση σχεδίων PCB σε ρεαλιστικά μοντέλα. Το KiCad υποστηρίζει πολύπλοκες πολυστρωματικές πλακέτες, διαφορικά ζεύγη και διαδραστική δρομολόγηση, καθιστώντας το κατάλληλο τόσο για χομπίστες όσο και για επαγγελματίες. Με μια ενεργή κοινότητα και μια εκτεταμένη βιβλιοθήκη εξαρτημάτων, το KiCad επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν και να επεκτείνουν τις δυνατότητές του. Ο χαρακτήρας του ως ανοικτού κώδικα προάγει τη συνεργασία και τη διαφάνεια, εξασφαλίζοντας συνεχείς βελτιώσεις και προσβασιμότητα για όλους τους χρήστες.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, αφού ολοκληρώθηκε η φάση του πρωτότυπου στον Breadboard, εισάγαμε τα σχηματικά της Συσκευής (Thing) και της Πύλης (Gateway) στο KiCad. Αυτό έγινε ώστε να έχουμε μια ψηφιακή αναπαράσταση, με βάση της οποίας είναι πολύ πιο εύκολο να προχωρήσουμε στην δημιουργία των πειραματικών PCB.

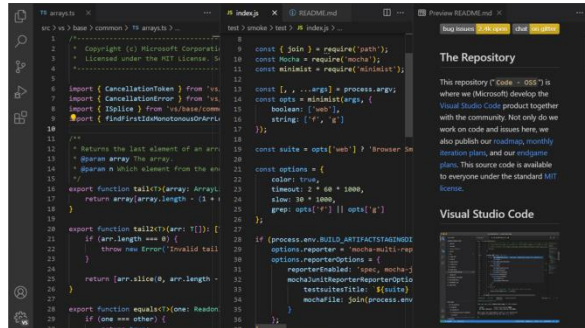
3.1.2 FUSION 360



Το Fusion 360 είναι ένα ευέλικτο, βασισμένο στο cloud λογισμικό 3D μοντελοποίησης, CAD (σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή), CAM (κατασκευή με τη βοήθεια υπολογιστή) και CAE (μηχανική με τη βοήθεια υπολογιστή) που αναπτύχθηκε από την Autodesk. Ενσωματώνει εργαλεία βιομηχανικού και μηχανολογικού σχεδιασμού, προσομοίωσης, συνεργασίας και κατεργασίας σε μια ενιαία πλατφόρμα, καθιστώντας το ιδανικό για τις ροές εργασίας σχεδιασμού, μηχανικής και παραγωγής προϊόντων. Το Fusion 360 υποστηρίζει παραμετρική, ελεύθερη και άμεση μοντελοποίηση, επιτρέποντας στους χρήστες να δημιουργούν ιδιαίτερα λεπτομερή και προσαρμόσιμα τρισδιάστατα μοντέλα. Περιλαμβάνει επίσης εργαλεία προσομοίωσης για τη δοκιμή των σχεδίων σε πραγματικές συνθήκες, καθώς και λειτουργίες CAM για τη δημιουργία διαδρομών εργαλείων για κατεργασίες CNC. Με τις λειτουργίες συνεργασίας που βασίζονται στο cloud, το Fusion 360 δίνει τη δυνατότητα σε ομάδες να συνεργάζονται απρόσκοπτα, καθιστώντας το μια δημοφιλή επιλογή μεταξύ επαγγελματιών, εκπαιδευτικών και χομπίστες.

Το Fusion 360 χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση του σώματος (Housing) της συσκευής. Πιο συγκεκριμένα το σώμα της συσκευής σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν τόσο η λογική μονάδα ESP32 της συσκευής μαζί με τα περιφερειακά της, όσο και οι τρεις αισθητήρες πίεσης BME280. Παράλληλα, κάθε αισθητήρας θα πρέπει να παρεμβάλλεται ανάμεσα σε κάθε ζεύγος σωλήνα και να είναι απομονωμένος ο ένας με τον άλλο, ώστε να μπορούν να πραγματοποιούνται σωστά και ανεξάρτητα οι μετρήσεις πίεσης για τις αντίστοιχες ροές O₂, N₂ & VAC.

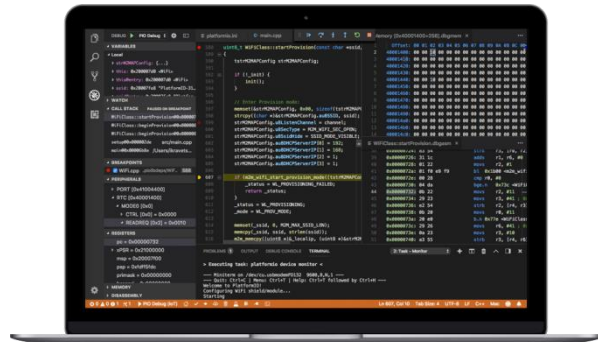
3.1.3 Visual Studio Code



Το Visual Studio Code (VS Code) είναι ένας δωρεάν, ελαφρύς και εξαιρετικά προσαρμόσιμος επεξεργαστής πηγαίου κώδικα που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα γλωσσών προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των Python, JavaScript, C++, Java και άλλων, καθιστώντας το ένα ευέλικτο εργαλείο για τους προγραμματιστές. Με χαρακτηριστικά όπως το IntelliSense για έξυπνη συμπλήρωση κώδικα, εργαλεία εντοπισμού σφαλμάτων, ενσωματωμένη ενσωμάτωση του Git και μια τεράστια αγορά επεκτάσεων, το VSCode ενισχύει την παραγωγικότητα και βελτιώνει τις ροές εργασίας. Η υποστήριξη πολλαπλών πλατφορμών (Windows, MAC, OS και Linux) διασφαλίζει την προσβασιμότητα των προγραμματιστών σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Σχεδιασμένο για ευελιξία, το VSCode επιτρέπει στους χρήστες να προσαρμόζουν τον επεξεργαστή στις ανάγκες τους με θέματα, συντομεύσεις πληκτρολογίου και επεκτάσεις, καθιστώντας το ένα από τα πιο δημοφιλή περιβάλλοντα κωδικοποίησης τόσο για επαγγελματίες όσο και για χομπίστες.

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τα βασικά Extensions και τις Γλώσσες Προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκαν.

3.1.3.1 PlatformIO



Το PlatformIO είναι ένα ευέλικτο οικοσύστημα ανοικτού κώδικα για την ανάπτυξη ενσωματωμένων εφαρμογών, το οποίο υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα πλατφορμών μικροελεγκτών, συμπεριλαμβανομένων των Arduino, ESP32, STM32 και άλλων. Διαθέτει ένα ενοποιημένο

περιβάλλον ανάπτυξης με προηγμένα εργαλεία αποσφαλμάτωσης, ελέγχου και διαχείρισης βιβλιοθηκών. Συμβατό με δημοφιλή IDE, όπως το VisualStudioCode, το PlatformIO απλοποιεί τις ροές εργασίας με την αυτοματοποίηση εργασιών όπως η επίλυση εξαρτήσεων και η δημιουργία υλικολογισμικού. Η ευελιξία του, η υποστήριξη πολλαπλών πλατφορμών και η ενεργή κοινότητα το καθιστούν δημοφιλή επιλογή για ενσωματωμένους μηχανικούς και ερασιτέχνες.

Στον συγκεκριμένο οικοσύστημα, αναπτύχθηκε ο κώδικας των ενσωματωμένων συσκευών χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες του Arduino και συναρτήσεις του ESP32 σε γλώσσες C & C++.

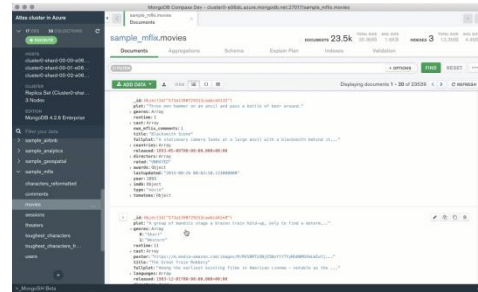
3.1.3.2 Node-JS, React-JS & Express-JS



Τα **Node.js**, **Express.js** και **React.js** είναι ένα ισχυρό τρίο που χρησιμοποιείται συχνά μαζί για τη σύγχρονη ανάπτυξη ιστοσελίδων. Το **Node.js** είναι ένα περιβάλλον χρόνου εκτέλεσης που επιτρέπει στους προγραμματιστές να εκτελούν JavaScript στον διακομιστή, επιτρέποντας την εκτέλεση υψηλής απόδοσης, κλιμακούμενων back-end εφαρμογών. Το **Express.js**, που βασίζεται στο Node.js, είναι ένα μινιμαλιστικό και ευέλικτο πλαίσιο ιστού που απλοποιεί την κατασκευή API και λογικής από την πλευρά του διακομιστή με χαρακτηριστικά όπως η δρομολόγηση και το middleware. Το **React.js**, από την άλλη πλευρά, είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη front-end για τη δημιουργία δυναμικών, διαδραστικών διεπαφών χρήστη χρησιμοποιώντας μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε συστατικά. Μαζί, δημιουργούν μια στιβαρή λύση ανάπτυξης πλήρους πακέτου, με το Node.js και το Express.js να χειρίζονται τον διακομιστή και το API, ενώ το React.js τροφοδοτεί την εμπειρία στην πλευρά του πελάτη.

Σε αυτές τις τρεις τεχνολογίες βασιστήκαμε προκειμένου να δημιουργήσουμε την σελίδα στην οποία θα προβάλλονται τα δεδομένα από τις συσκευές και θα δημιουργούνται **ειδοποιήσεις** (events) σε περίπτωση που εντοπιστεί κάποιο σφάλμα στο σύστημα. Τέλος στο περιβάλλον του Platformio χρησιμοποιήσαμε τα Extension: **ESLint**, **Prettier** - **CodeFormatter** & **Node.js ExtensionPack**. Οι συγκεκριμένες επεκτάσεις βοήθησαν σε σημαντικό βαθμό στην βελτίωση της ποιότητας του κώδικα και στην αποφυγή σφαλμάτων.

3.1.4 MongoDB & MongoDB Compass



Η MongoDB είναι μια ισχυρή βάση δεδομένων NoSQL ανοιχτού κώδικα, σχεδιασμένη για την αποθήκευση και διαχείριση μεγάλου όγκου μη δομημένων δεδομένων. Χρησιμοποιεί ένα ευέλικτο μοντέλο προσανατολισμένο στα έγγραφα, αποθηκεύοντας δεδομένα σε μορφή BSON που μοιάζει με JSON, γεγονός που την καθιστά ιδανική για σύγχρονες εφαρμογές που απαιτούν επεκτασιμότητα και υψηλές επιδόσεις. Το MongoDB Compass είναι ένα εργαλείο γραφικής διεπαφής χρήστη (GUI) για τη MongoDB, που επιτρέπει στους προγραμματιστές να εξερευνούν, να διαχειρίζονται και να βελτιστοποιούν οπτικά τις βάσεις δεδομένων τους. Με λειτουργίες όπως η απεικόνιση σχημάτων, η δημιουργία ερωτημάτων και η ανάλυση επιδόσεων, το MongoDB Compass απλοποιεί τη διαχείριση βάσεων δεδομένων και παρέχει πληροφορίες χωρίς να απαιτείται αλληλεπίδραση με τη γραμμή εντολών, καθιστώντας το φιλικό προς το χρήστη τόσο για αρχάριους όσο και για επαγγελματίες.

Στο πλαίσιο της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε ως Βάση Δεδομένων στον Server, λόγω της συμβατότητας της με **Javascript**, της υψηλής απόδοσης καθώς και την ευελιξίας της στην δημιουργία και τροποποίηση διαφορετικών μοντέλων και σχέσεων (Schemaless), πράγμα που κατέστησε εύκολο τον πειραματισμό.

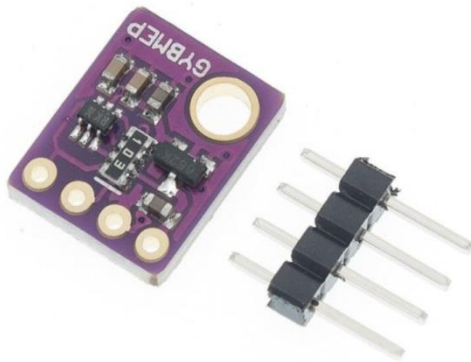
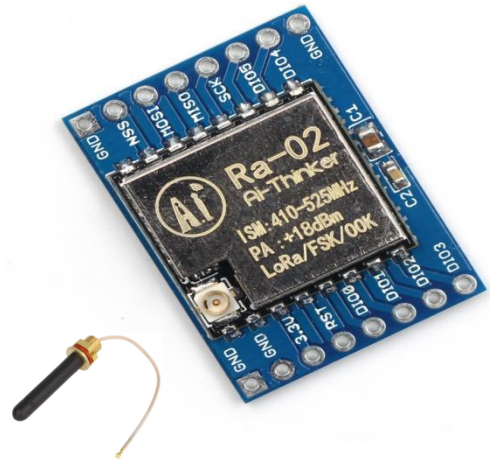
3.2.1 Υλικά Υλοποίησης



Ο **ESP32** είναι ένας μικροελεγκτής χαμηλού κόστους και υψηλής απόδοσης που αναπτύχθηκε από την Espressif Systems, γνωστός για την ευελιξία και τα στιβαρά χαρακτηριστικά του. Ενσωματώνει συνδεσιμότητα Wi-Fi και Bluetooth/Bluetooth Low Energy (BLE), καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές IoT (Internet of Things). Χτισμένο γύρω από έναν επεξεργαστή διπλού Tensilica Xtensa, το ESP32 προσφέρει εντυπωσιακή υπολογιστική ισχύ, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και πολλαπλές λειτουργίες αναστολής λειτουργίας για ενεργειακή αποδοτικότητα. Περιλαμβάνει ένα πλούσιο σύνολο περιφερειακών, όπως GPIO, ADC, DAC, UART, SPI, I2C, PWM και αισθητήρες αφής, επιτρέποντας ποικίλες διασυνδέσεις υλικού.

Η μονάδα **LoRa SX1278** είναι ένας ασύρματος πομποδέκτης χαμηλής ισχύος και μεγάλης εμβέλειας, βασισμένος στο τσιπ SX1278 της Semtech, σχεδιασμένος για εφαρμογές IoT και απομακρυσμένης επικοινωνίας.

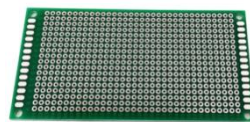
Λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων 433 MHz ή 868/915 MHz και χρησιμοποιεί την τεχνολογία διαμόρφωσης LoRa (μεγάλης εμβέλειας) για την επίτευξη αποστάσεων επικοινωνίας έως και 10 χιλιομέτρων σε ανοιχτές περιοχές, με εξαιρετική ανοχή στις παρεμβολές. Η μονάδα υποστηρίζει χαρακτηριστικά όπως ρυθμιζόμενους ρυθμούς δεδομένων, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και υψηλή ευαισθησία έως και -137 dBm, καθιστώντας την ιδανική για συσκευές που λειτουργούν με μπαταρία.



Ο **BME280** είναι ένας περιβαλλοντικός αισθητήρας υψηλής ακρίβειας που αναπτύχθηκε από την Bosch και έχει σχεδιαστεί για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της βαρομετρικής πίεσης. Διαθέτει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, καθιστώντας τον ιδανικό για εφαρμογές IoT, κινητά και εφαρμογές που λειτουργούν με μπαταρία. Με υψηλή ακρίβεια και γρήγορους χρόνους απόκρισης, ο BME280 χρησιμοποιείται ευρέως σε μετεωρολογικούς σταθμούς, έξυπνα σπίτια, συσκευές GPS και φορητή τεχνολογία. Επικοινωνεί μέσω διεπαφών I2C ή SPI, καθιστώντας εύκολη την ενσωμάτωσή του με μικροελεγκτές και πλακέτες ανάπτυξης όπως το Arduino, το ESP32 και το RaspberryPi.



Το **2N7000** αποτελεί ένα Mosfet τύπου N- καναλιού με μέγιστο ρεύμα τα 200mA. Είναι κατάλληλο για χρήση ως διακόπτης.



Πλακέτα για δημιουργία πρωτότυπου 50x100mm. Περιέχει χαλκό και από τις δύο επιφάνειες διευκολύνοντας την κόλληση στοιχείων.



Σωλήνας εξαρτημάτων
πεπιεσμένου αέρα
σχήματος με απλό με
σχεδιασμό push in για
σύνδεση με τον σωλήνα



Αξιόπιστος σωλήνας αέρα
πολυουρεθάνης κατάλληλων
διαστάσεων ώστε να
συνδέεται στον σωλήνα
T-σχήματος.

Κεφάλαιο 4ο: Υλοποίηση Υλικού

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε την υλοποίηση του υλικού του συστήματός μας. Θα ξεκινήσουμε με τη σχεδίαση του πειραματικού πρωτότυπου σε breadboard, την σχεδίαση των κυκλωμάτων στο KiCAD και θα προχωρήσουμε στην δημιουργία των PCB, τα οποία στο επόμενο κεφάλαιο και θα προγραμματίσουμε. Είναι σαφές ότι για την δημιουργία ενός συστήματος που απαρτίζεται από υλικό και λογισμικό απαιτούνται αλληπάλληλοι κύκλοι ταυτόχρονων δοκιμών, παρόλ'αυτά για λόγους παρουσίασης θα αναφερθούμε σε κάθε στάδιο σειριακά. Τέλος, θα παρουσιάσουμε την σχεδίαση και συναρμολόγηση του σώματος της συσκευής χρησιμοποιώντας 3D εκτύπωση.

4.1 Πρωτότυπο

Στις προδιαγραφές του συστήματος που θέσαμε στην αρχική ενότητα ορίσαμε ότι είναι απαραίτητη η μέτρηση των πιέσεων τριών αερίων από τον εκάστοτε σωλήνα παροχής οξυγόνου, αζώτου και κενού. Επομένως, χρειαζόμαστε τρεις αισθητήρες μέτρησης της πίεσης. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι οι περισσότερες μετρητικές διατάξεις λειτουργούν σε I2C πρωτόκολλο επικοινωνίας και ότι συνήθως έχουν δύο μόνο διευθύνσεις. Άλλοι αισθητήρες που παρέχουν διεπαφή SPI παρουσιάζουν σημαντική αύξηση στη τιμή, καθιστώντας τους ακατάλληλους λόγω κόστους. Σε αυτό το πρόβλημα εξετάστηκαν δύο λύσεις:

- η πρώτη είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν πολυπλέκτη I2C ο οποίος επιλέγοντας αναλόγως το pin εισόδου, επιλέγει σε ποια έξοδο θα οδηγήσει τον παλμό.
- η δεύτερη είναι η απενεργοποίηση της τροφοδοσίας όλων των αισθητήρων πέρα αυτού που θέλουμε την μέτρηση. Για να το πετύχουμε αυτό θα πρέπει να παρεμβάλουμε ένα τύπου N καναλιού Mosfet τρανζίστορ το οποίο θα λειτουργεί ως διακόπτης.

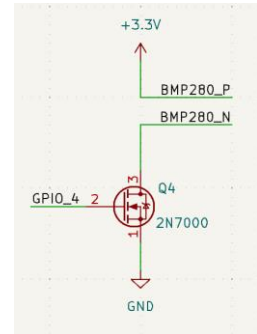
Εκ των δύο επιλέξαμε την δεύτερη καθώς είναι φθηνότερη και δεν υπάρχει ανάγκη για πολύ γρήγορη συλλογή δεδομένων. Παρόλα αυτά απαιτεί να τοποθετήσουμε τα τρανζίστορ σε σωστή συνδεσμολογία και να φροντίσουμε να βρίσκονται στην περιοχή λειτουργίας του κορεσμού, προκειμένου να λειτουργούν ως διακόπτες. Επίσης, θα πρέπει να φροντίσουμε στον κώδικα, σε κάθε

αλλαγή λήψης δεδομένων από αισθητήρα να αρχικοποιούμε ξανά την επικοινωνία, καθώς πλέον τους αισθητήρες που δεν χρησιμοποιούμε τους απενεργοποιούμε ηλεκτρικά.

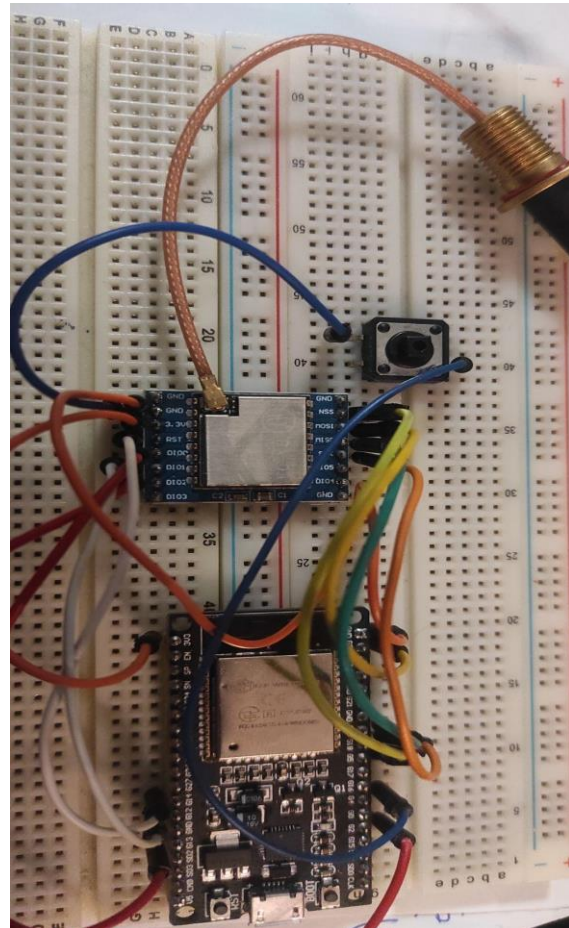
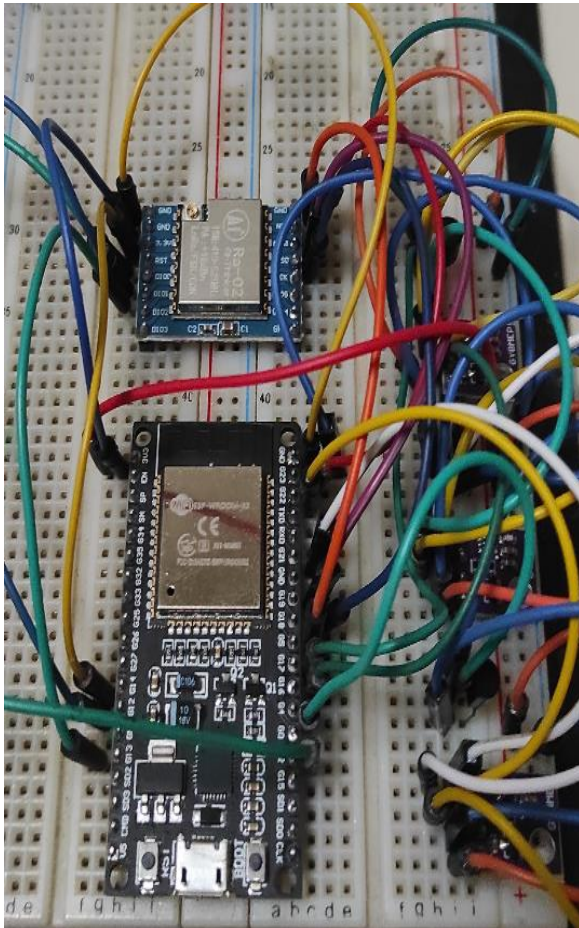
Τα Mosfet N καναλιού λειτουργούν ως διακόπτες στην χαμηλή πλευρά της τάσης, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Μέσω της τάσης του GPIO_04 μπορούμε να ελέγξουμε το αν θα περνάει ρεύμα μεταξύ του πηγής-υποδοχής. Το 2n7000 έχει $V_{GSth} = [2, 3]V$.

- Όταν το GPIO_04 = 0, $V_{GS} < V_{GSth}$ οπότε είμαστε στην αποκοπή
- Όταν το GPIO_04 = 3.3V, $V_{GS} > V_{GSth}$ και $V_{DS} < V_{GS} - V_{GSth}$ τότε είμαστε στον κορεσμό. Σε αυτή τη περιοχή το ρεύμα δεν ελέγχεται από το τρανζίστορ.

Επομένως εναλλάσσοντας μεταξύ των δύο περιοχών το κάθε τρανζίστορ λειτουργεί ως διακόπτης ελεγχόμενος από τον ακροδέκτη που συνδέεται στην πύλη του.



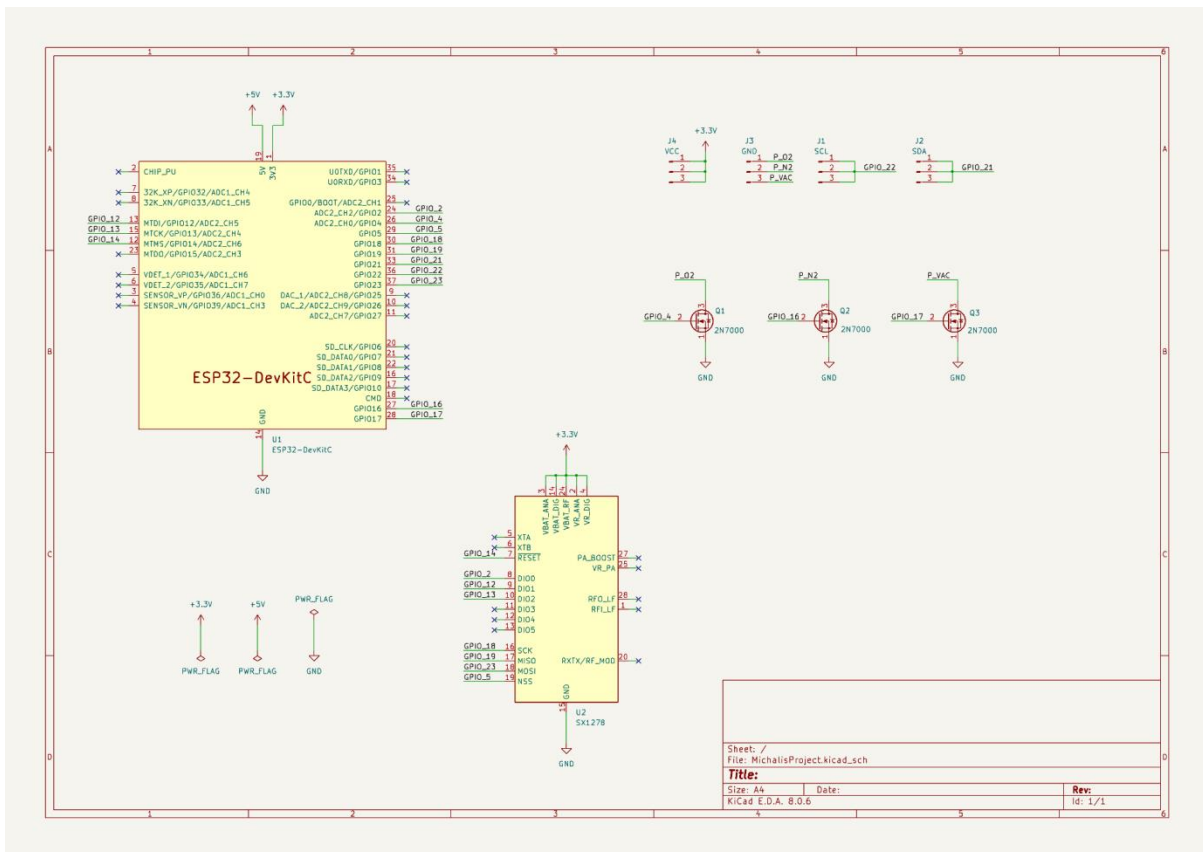
Με βάση τα παραπάνω καταλήγουμε στον παρακάτω πρωτότυπο σε breadboard.



Εικόνα 4.1: Πρωτότυπες πλακέτες Συσκευών Συλλογής δεδομένων και Γεφύρωσης επικοινωνίας.

4.2 KiCAD & Κατασκευή

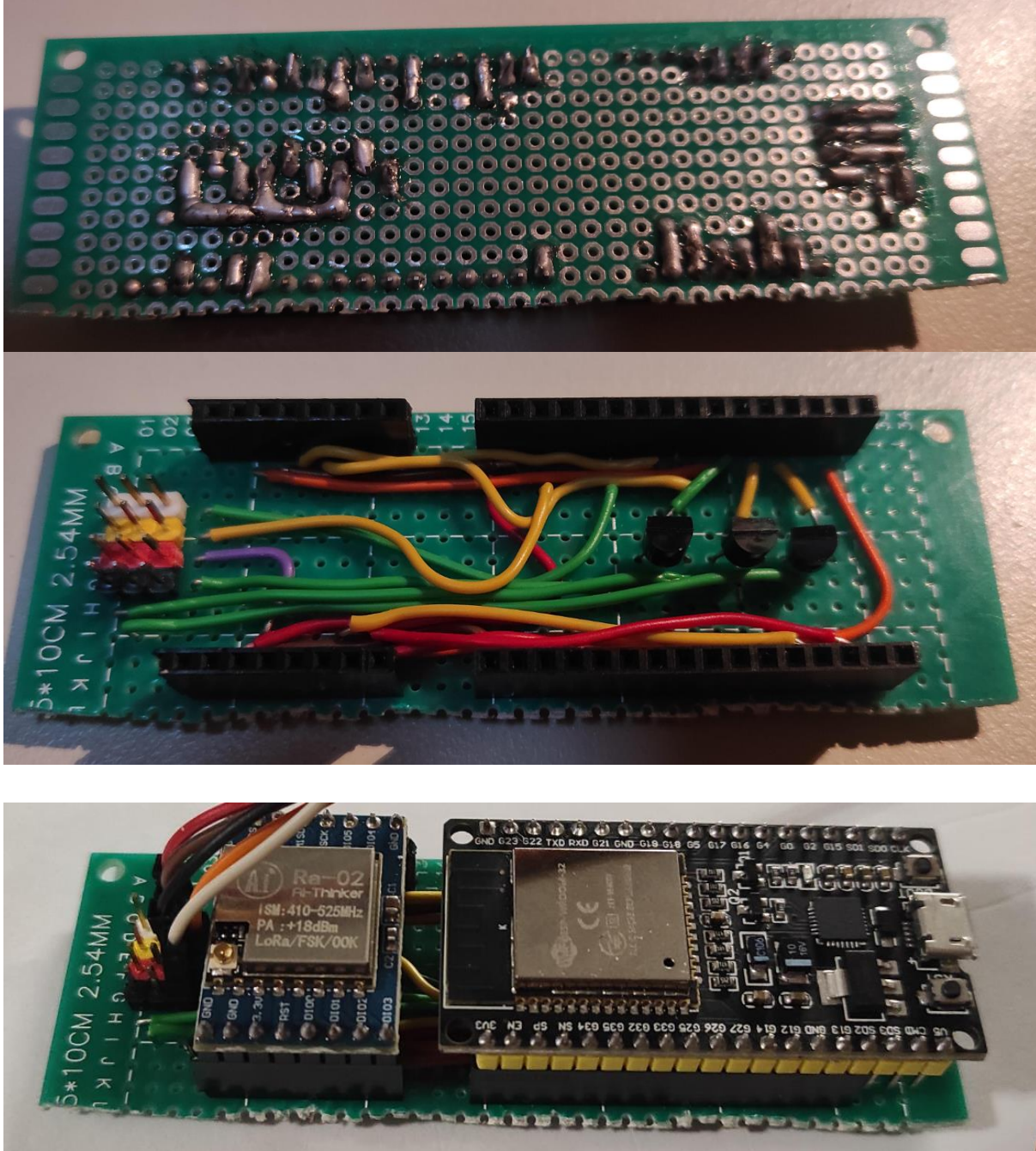
Μεταφέροντας το παραπάνω σε σχέδιο στον KiCAD μπορούμε να παράξουμε τα ακόλουθα σχηματικά του κυκλώματός μας. Όπως μπορούμε να δούμε το KiCAD παρέχει και την δυνατότητα να δημιουργήσουμε ηλεκτρονικά το PCB με έτοιμες όλες τις ενώσεις, παρόλ'αυτά λόγω οικονομίας χρόνου, αλλά και τις πολυπλοκότητας της εργασίας δεν το προχωρήσαμε. Αυτό έγινε καθώς η υπηρεσία κατασκευής τους συνήθως αργεί σημαντικά στην παραγωγή τους, οπότε προχωρήσαμε στην κόλληση τους με το χέρι. Τα παραπάνω σχέδια όπως και το τελικό PCB φαίνονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Εικόνα 4.2: Σχηματικό πρωτότυπης Συσκευής συλλογής δεδομένων.



Παρακάτω παρουσιάζουμε τις κολλήσεις με το χέρι:



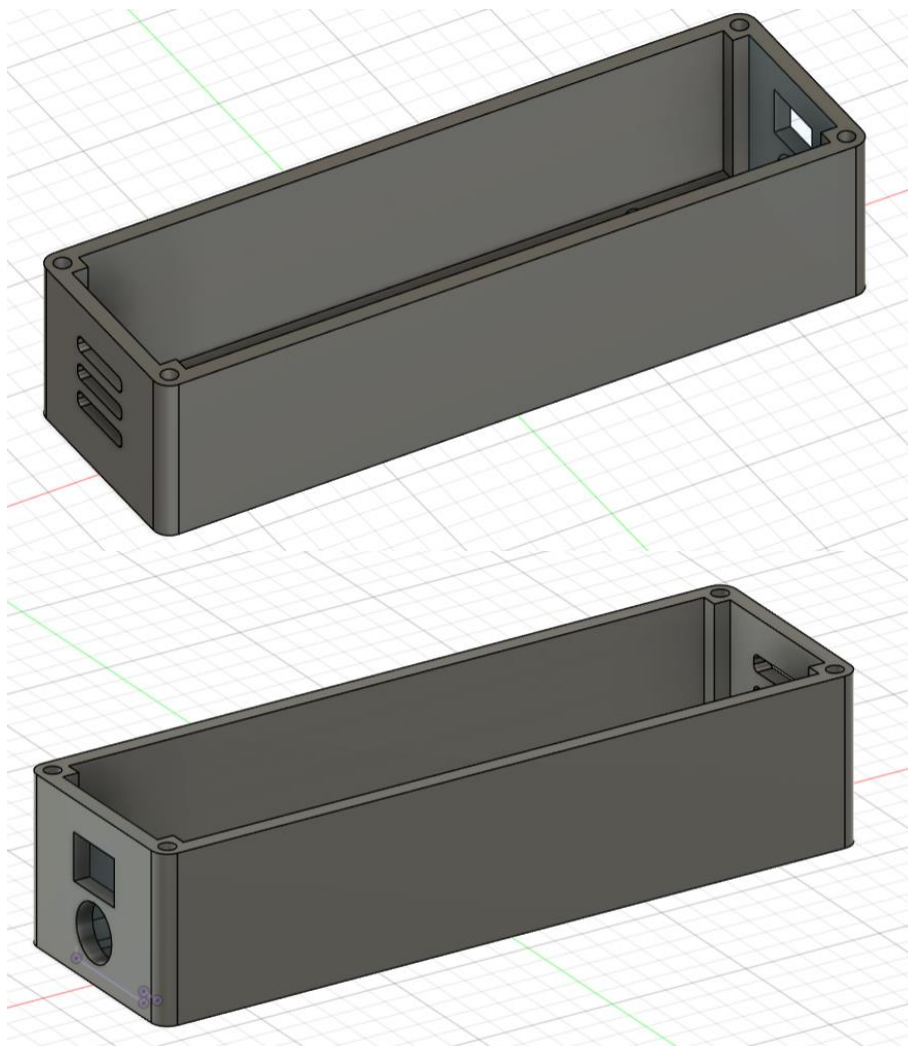
Εικόνα 4.3: Πρωτότυπο PCB Συσκευής συλλογής δεδομένων.

Όπως παρατηρούμε, οι κολλήσεις στο πειραματικό PCB απλοποιούν σε μεγάλο βαθμό την πολυπλοκότητα του κυκλώματος. Επίσης προσφέρουν σημαντική ενίσχυση, καθιστώντας το πολύ πιο ανθεκτικό σε επίδραση δονήσεων και δυνάμεων.

4.3 Υλοποίησης Υλικού Συσκευής

4.3.1 3D Σχεδίαση της συσκευής

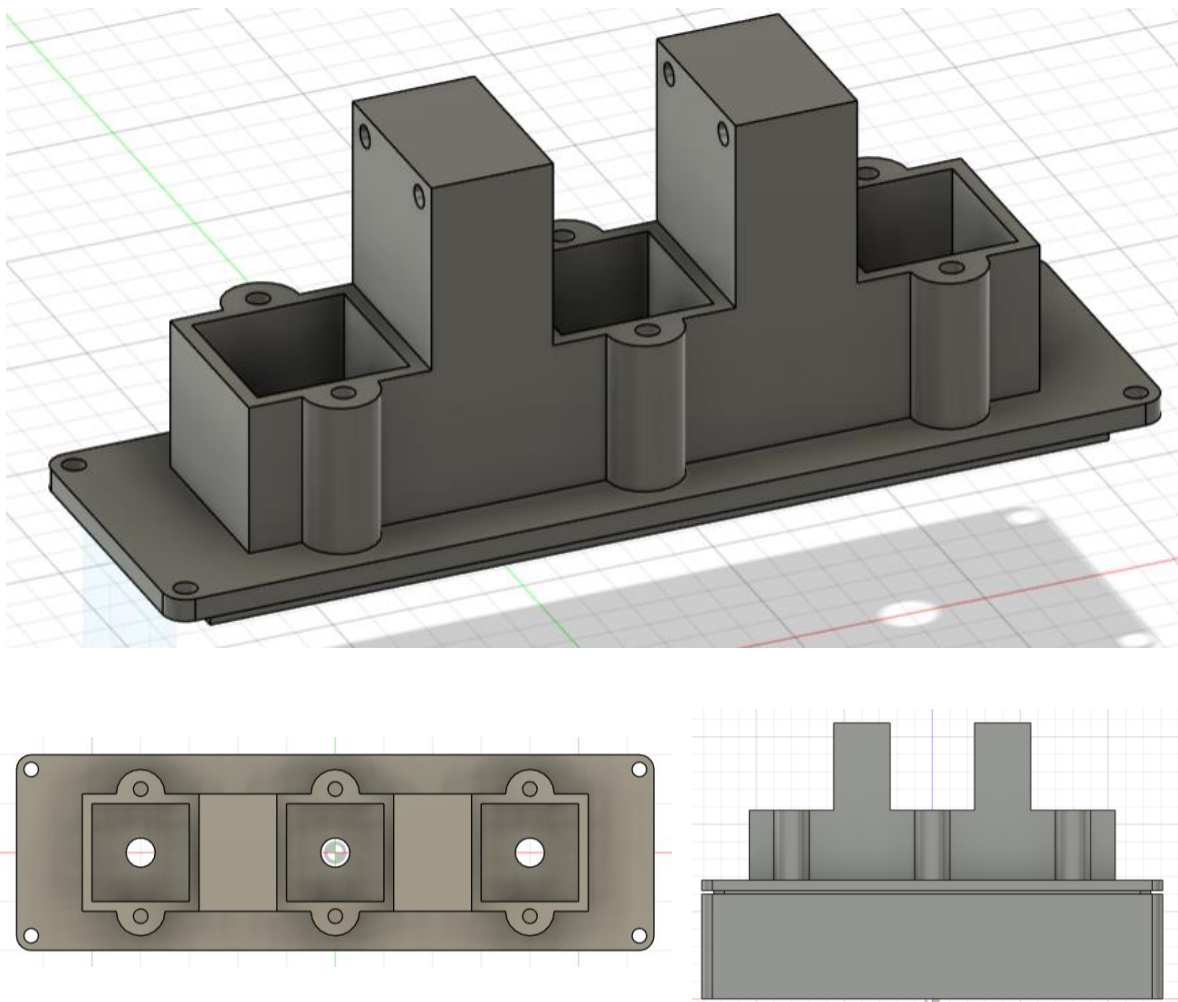
Με την ολοκλήρωση κόλλησης των πλακετών προχωρήσαμε στην σχεδίαση της θήκης της συσκευής συλλογής δεδομένων, η οποία θα δένει τα ηλεκτρονικά και τα μηχανικά μέρη μαζί. Για την σωστή σχεδίασή της, απαραίτητη ήταν η ακριβής μέτρηση των διαστάσεων όλων των επιμέρους υλικών καθώς και της πλακέτας της προηγούμενης ενότητας. Τέλος, σε κάθε σχέδιο που πρόκειται να υλοποιηθεί σε 3D εκτυπωτή, πρέπει να λάβουμε υπόψη και τον τρόπο με τον οποίο το αντικείμενό μας θα εκτυπωθεί, καθώς ο προσανατολισμός και το ίδιο το σχέδιο μπορούν να αποφέρουν εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα σε μηχανική αντοχή και αστοχίες ή αδυναμίες στην εκτύπωση.



Εικόνα 4.4: 3D Σχέδιο του κάτω μέρους της συσκευής.

Το πρώτο τμήμα που παρουσιάζεται παραπάνω έχει σχεδιαστεί για να φιλοξενήσει την πλακέτα, να στηρίζει την κεραία LoRa μέσω του SMA connector που λειτουργεί στα 433MHz καθώς και επιτρέπει την εισαγωγή του καλωδίου USB TypeMicro για την φόρτιση και την εξαγωγή των τριών τετράδων καλωδίων για την σύνδεση των αισθητήρων BMP280 μέσω του πρωτοκόλλου I2C.

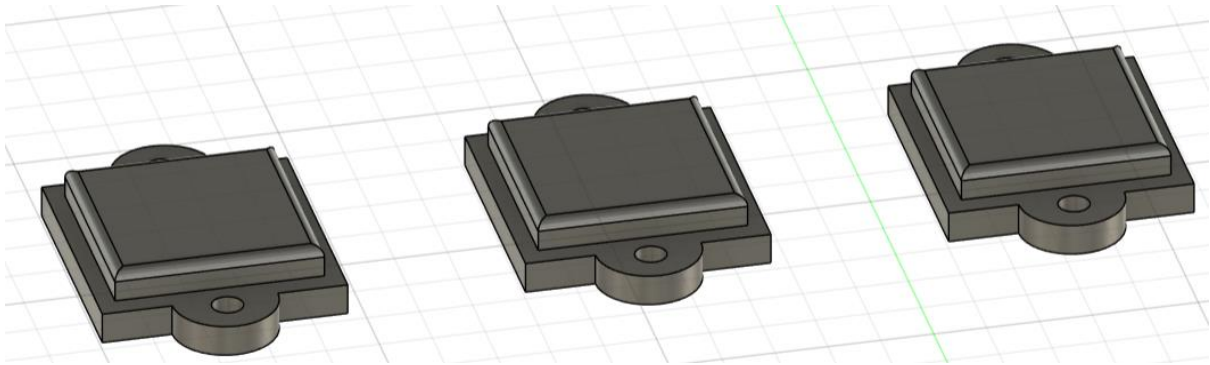
Αμέσως μετά σχεδιάσαμε το τμήμα στο οποίο θα μπου οι τρεις αισθητήρες και θα στηριχθούν οι τρεις connectors τύπου T για τις σωληνώσεις, ώστε να παρεμβάλουμε σε κάθε σωλήνα από έναν αισθητήρα. Το τμήμα αυτό επίσης σχεδιάστηκε ώστε να μπορεί να συνδεθεί με το προηγούμενο αποτελώντας εν τέλη μία ενιαία συσκευή.



Εικόνα 4.5: 3D Σχέδιο του πάνω μέρους της συσκευής.



Τέλος έχουμε τα καπάκια τα οποία θα μπουν ώστε να σφραγίζουν αεροστεγώς του τρεις αισθητήρες,



Εικόνα 4.6: 3D Σχέδιο από τα καπάκια των αισθητήρων BMP280

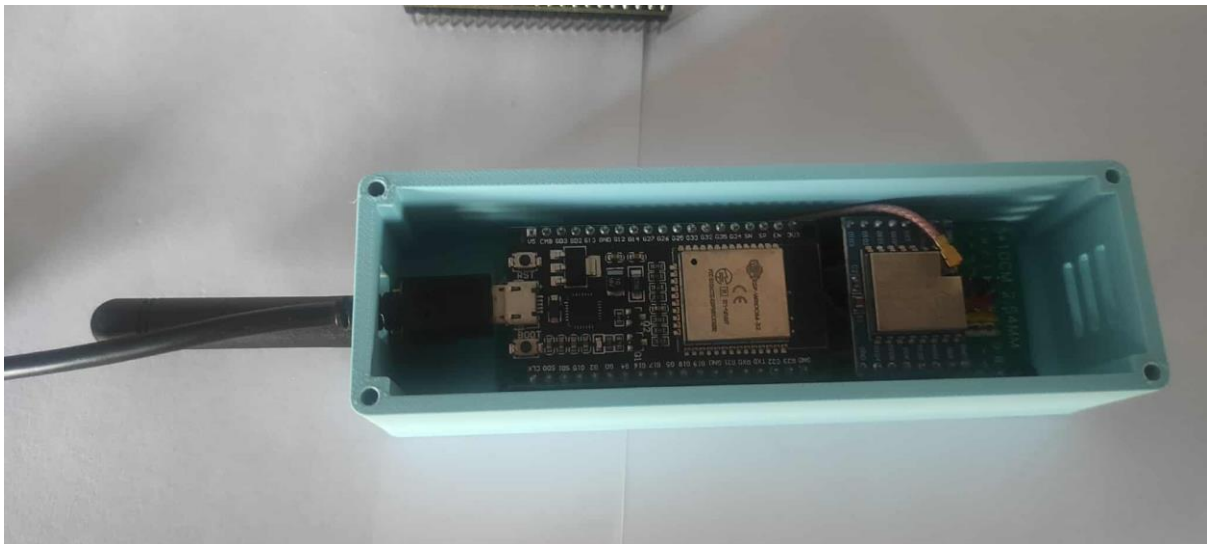
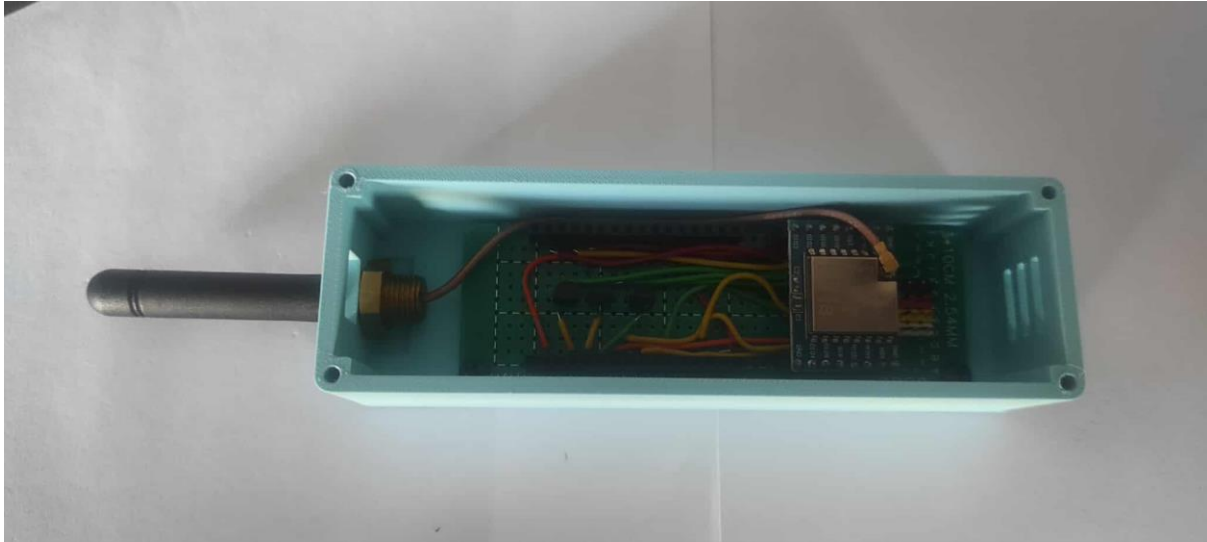
Οι εκτυπώσεις έγιναν στον 3D εκτοπωτή BambuLab σε υλικό PLA.



Εικόνα 4.7: Ο εκτοπωτής BambuLab κατά την εκτύπωση του πάνω μέρους της συσκευής.

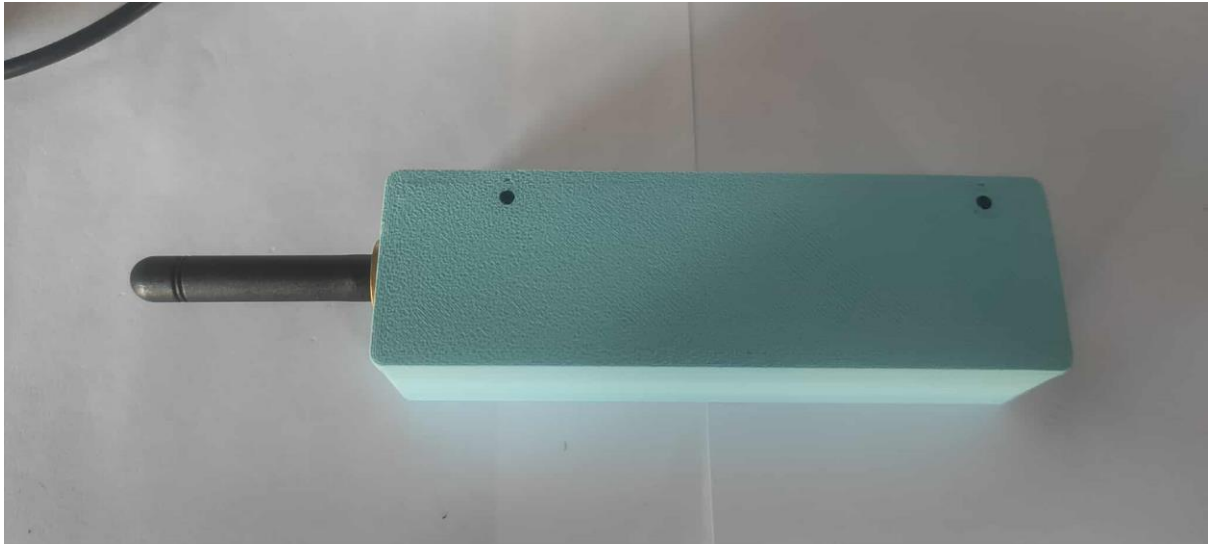
4.3.2 Συναρμολόγηση Συσκευής

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε την διαδικασία συναρμολόγησης της συσκευής. Αρχικά, τοποθετούμε τα ηλεκτρονικά (Πλακέτα) στο εσωτερικό έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί η κεραία και η θύρα USB του μικροελεγκτή να κοιτά προς την υποδοχή USB του κουτιού.



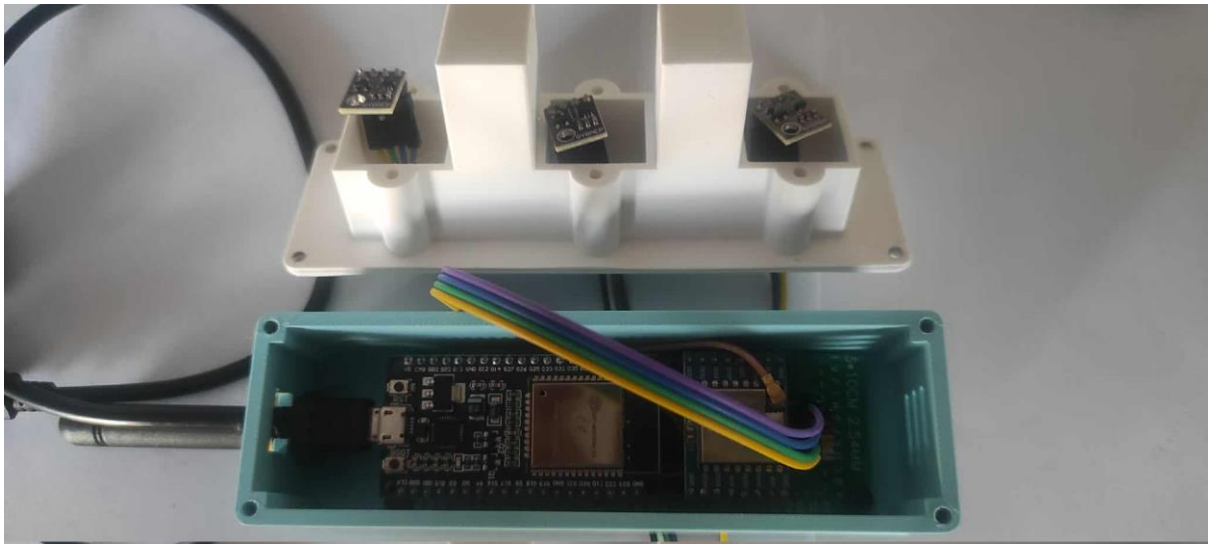
Εικόνα 4.8: Τοποθέτηση πλακέτας PCB στον εσωτερικό της θήκης και βίδωμα κεραίας.

Στο κάτω τμήμα βρίσκονται δύο τρύπες ώστε να μπορεί να σταθεροποιηθεί η πλακέτα και να μην κουνιέται σε σχέση με το προστατευτικό κάλυμμα.



Εικόνα 4.9. Κάτω τμήμα του προστατευτικού καλύμματος, με τρύπες σταθεροποίησης πλακέτας.

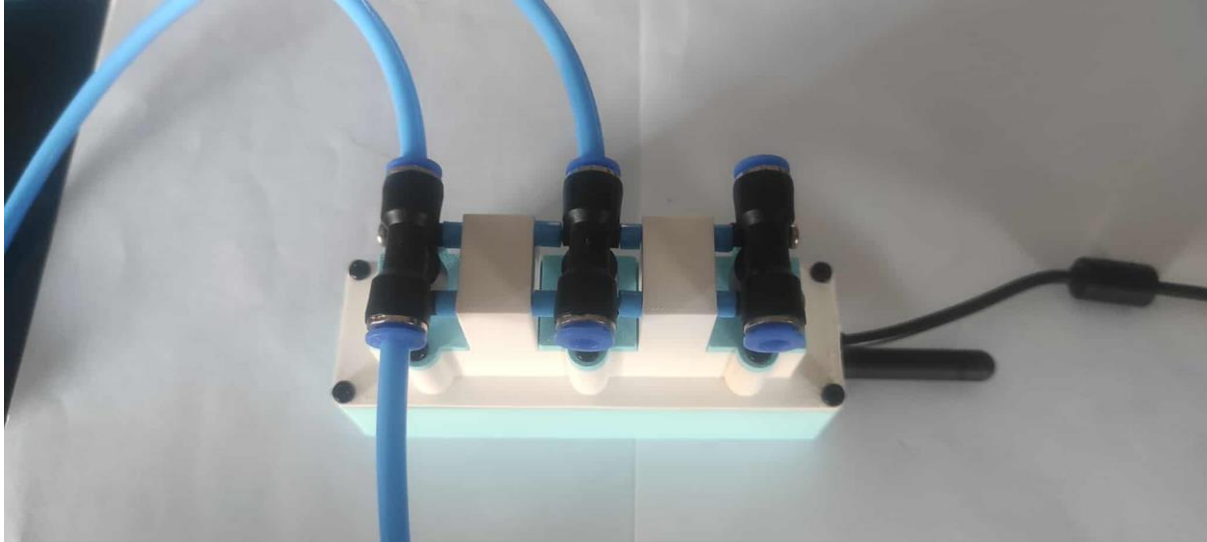
Κάθε αισθητήρας τοποθετείται στον δικό του ξεχωριστό θάλαμο στο καπάκι. Τα καλώδιά τους εξάγονται από το κάτω τμήμα του καπακιού, όπου τοποθετείται και ρητίνη ώστε να στεγανοποιήσει την συνολική διάταξη. Τέλος, τα καλώδια του κάθε αισθητήρα συνδέονται στην συστοιχία υποδοχών της πλακέτας που παρουσιάσαμε σε προηγούμενα κεφάλαια.



Εικόνα 4.10. Τοποθέτηση αισθητήρων και σύνδεση της καλωδίωσης τους.

Στο τελευταίο στάδιο συναρμολόγησης, σφραγίζεται το καπάκι του κάθε αισθητήρα, όπως και το πάνω τμήμα της συσκευής. Επίσης, με τις προεκτάσεις στο πάνω τμήμα, χρησιμοποιώντας αποστάτες και βίδες, τοποθετούμε τους connectors τύπου T, οι οποίοι παρεμβάλουν στα καλώδια ροής των

αερίων O₂, N₂ & VAC μία τρίτη έξοδο ώστε να συνδέεται στον αντίστοιχο αισθητήρα πίεσης. Βάσει της αρχής Bernoulli, αλλαγή της ροής στον κεντρικό σωλήνα προκαλεί αλλαγή της πίεσης στο δευτερεύοντα, άρα και στους θαλάμους που βρίσκονται οι αισθητήρες μας.



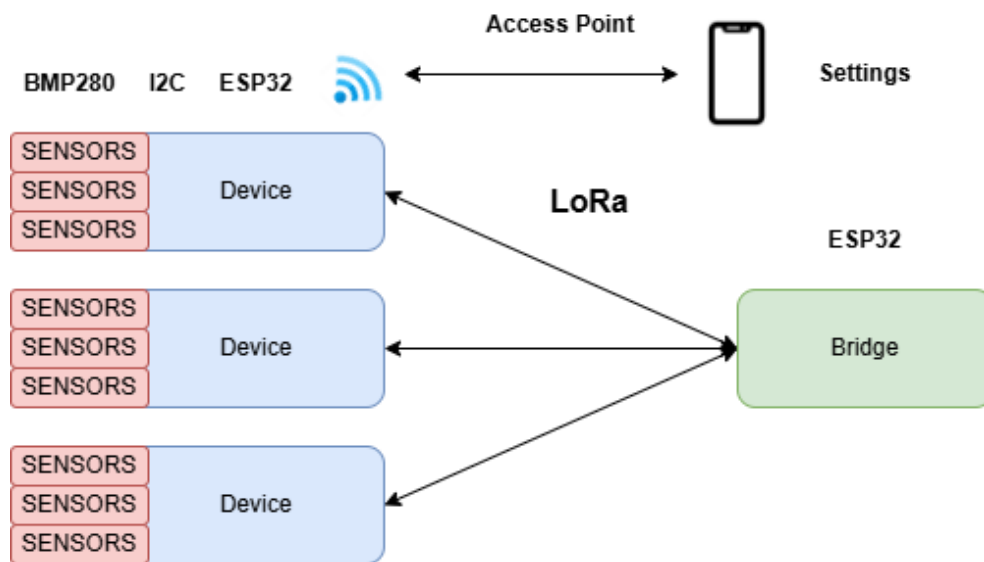
Εικόνα 4.11. Τοποθέτηση πάνω τμήματος, σφράγισμα συσκευής και τοποθέτηση των διαχειριστών ροής.

Κεφάλαιο 5ο: Προγραμματισμός Συσκευών

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε και θα αναλύσουμε τον κώδικα των συσκευών και τις δυνατότητες που αυτός προσφέρει. Στο σύστημά μας έχουμε δύο είδη συσκευών, τους Μετρητές (EndDevices) που όπως υποδηλώνει το όνομά τους, συλλέγουν και αποστέλλουν μέσω LoRa την πληροφορία και τις Κεντρικές Πύλες (Gateways), που γεφυρώνουν την επικοινωνία μεταξύ LoRa & Internet. Για την ανάπτυξη του λογισμικού βασιστήκαμε στο Framework προγραμματισμού Arduino.

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα που παρέχει έναν απλό και φιλικό προς τον χρήστη τρόπο προγραμματισμού μικροελεγκτών. Χρησιμοποιείται ευρέως για την κατασκευή πρωτοτύπων και ηλεκτρονικών έργων. Το πλαίσιο (Framework) είναι χτισμένο γύρω από το Arduino IDE (Integrated Development Environment) και ένα σύνολο βιβλιοθηκών και εργαλείων που διευκολύνουν τον προγραμματισμό υλικού. Παρέχει ένα διαισθητικό, φιλικό προς τους αρχάριους περιβάλλον και χρησιμοποιεί μια απλοποιημένη έκδοση της C++ για τον προγραμματισμό. Ανάμεσα στις αρχιτεκτονικές που υποστηρίζει, βρίσκεται και ο ESP32 της Espressif.

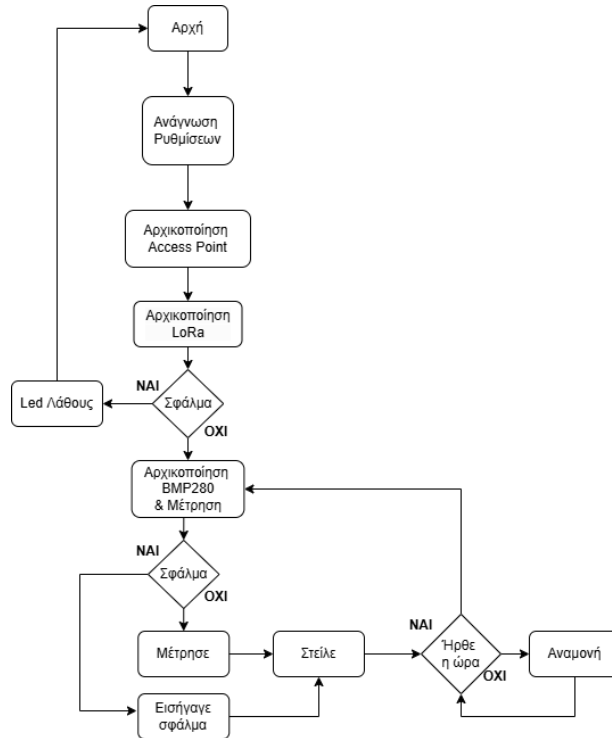


Εικόνα 5.1: Αρχιτεκτονική Συλλογής δεδομένων και μεταφοράς στην Συσκευή γεφύρωσης επικοινωνίας.

5.2 Κώδικας Μετρητών

Οι συσκευές τύπου Μετρητών είναι υπεύθυνες για την συλλογή και αποστολή των μετρήσεων των πιέσεων των αερίων O₂, N₂ & VAC. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του κώδικα.

Ο Κώδικας ξεκινά με την αρχικοποίηση των ρυθμίσεων του συστήματος, όπως είναι ο Χρόνος δειγματοληψίας των αισθητήρων πίεσης, το κλειδί της κρυπτογράφησης και οι ρυθμίσεις της συσκευής επικοινωνίας LoRa.



Εικόνα 5.2: Διάγραμμα Ροής Συσκευής Συλλογής Δεδομένων

Στη συνέχεια ακολουθεί η αρχικοποίηση του ModuleLoRa το οποίο ρυθμίζουμε θέτοντας:

- Τα GPIO's: **NSS, RST, D0, D1** σύμφωνα με το σχηματικό της προηγούμενης ενότητας,
- Την συχνότητα μετάδοσης στα 433 MHz, η οποία είναι μέσα στα Νομικά όρια,
- Τη λέξη συγχρονισμού **SyncWord**, ώστε να μην δεχόμαστε δεδομένα από άλλες συσκευές

Σε περίπτωση σφάλματος ανάβει το Led Κατάστασης σε Κόκκινο και η συσκευή μετά από λίγο επανεκκινείται.

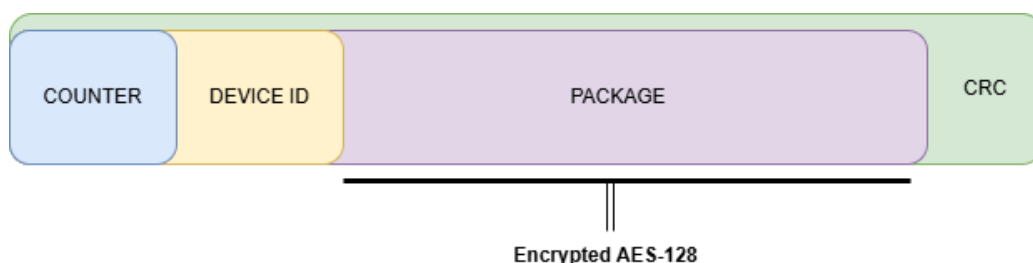
Μετά η συσκευή μετρήσεων εισέρχεται στον βρόχο επανάληψης όπου:

- Αρχικοποιεί ξεχωριστά τον κάθε ένα από τους τρεις αισθητήρες πίεσης και παίρνει 10 δείγματα από τον καθένα, ώστε να μειωθεί ο θόρυβος μέτρησης.
- Αν προκύψει σφάλμα στους αισθητήρες, προχωρά στην αποστολή μηνύματος.
- Κρυπτογραφεί τα δεδομένα με το κρυφό κλειδί.
- Προσθέτει το CRC επίθεμα ώστε να μπορεί να βεβαιωθεί η ακεραιότητα του μηνύματος από τον χρήστη.
- Αποστέλει το μήνυμα και αναμένει μέχρι να έρθει η επόμενη χρονική στιγμή αποστολής.
- Αυτό επαναλαμβάνεται ατέρμονα είτε μέχρι να σημειωθεί κάποιο σφάλμα, είτε μέχρι να δοθεί κάποια νέα ρύθμιση.

Κατά την παραπάνω διαδικασία είναι σημαντικό να τονίσουμε κάποια σημαντικά σημεία. Με βάση την συνδεσμολογία που ορίσαμε στην ενότητα Υλοποίησης Υλικού, πριν από την αρχικοποίηση οποιουδήποτε από τους τρεις αισθητήρες πίεσης, πρέπει να δώσουμε χαμηλή στάθμη LOW στους αντίστοιχους ακροδέκτες ελέγχου της τροφοδοσίας τους και να δώσουμε υψηλή στάθμη HIGH στον ακροδέκτη του αισθητήρα που μας ενδιαφέρει. Αυτό είναι απαραίτητο, διαφορετικά θα υπάρχουν δύο ή παραπάνω αισθητήρες με την ίδια διεύθυνση I2C, με αποτέλεσμα να υπάρχει σύγκρουση κατά την λήψη δεδομένων (collision). Οι μετρήσεις λαμβάνονται χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη BMP280 της Adafruit.

Παράλληλα πέρα της SyncWord που χρησιμοποιήσαμε κατά την αρχικοποίηση του ModuleLora είναι σημαντικό να κρυπτογραφήσουμε τα δεδομένα που πρόκειται να αποστείλουμε. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια την βιβλιοθήκης Crypto σε τύπο AES-128. Το AES-128 σημαίνει Advanced Encryption Standard (AES) με μήκος κλειδιού 128 bit. Είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος αλγόριθμος συμμετρικής κρυπτογράφησης που έχει σχεδιαστεί για να διασφαλίζει την εμπιστευτικότητα των δεδομένων. Ο AES είναι το τρέχον πρότυπο κρυπτογράφησης που έχει υιοθετηθεί από το Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) και αναγνωρίζεται ευρέως για την ισχύ, την αποτελεσματικότητα και την ταχύτητά του. Η βιβλιοθήκη κρυπτο παρέχει μία ελαφριά υλοποίηση κατάλληλη για ενσωματωμένα συστήματα.

Στη συνέχεια έχουμε την προσθήκη του επιθέματος CRC. Το CRC σημαίνει CyclicRedundancyCheck (έλεγχος κυκλικού πλεονασμού), μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική ανίχνευσης σφαλμάτων για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων σε ψηφιακές επικοινωνίες και συστήματα αποθήκευσης. Χρησιμοποιείται για την ανίχνευση τυχαίων αλλαγών σε ακατέργαστα δεδομένα κατά τη μετάδοση ή την αποθήκευση. Μια σταθερή δυαδική τιμή, που ονομάζεται πολυώνυμο γεννήτριας, ορίζεται και μοιράζεται μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη. Ο αποστολέας διαιρεί τα δεδομένα με το πολυώνυμο γεννήτριας χρησιμοποιώντας δυαδική διαίρεση (αριθμητική modulo-2, η οποία δεν περιλαμβάνει μεταφορές ή δανεισμούς). Ο δέκτης εκτελεί την ίδια διαίρεση (δεδομένα + άθροισμα ελέγχου) χρησιμοποιώντας το πολυώνυμο της γεννήτριας. Εάν το υπόλοιπο είναι 0, τα δεδομένα θεωρούνται έγκυρα. Διαφορετικά, ανιχνεύεται σφάλμα. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται η ασφαλής μεταφορά των δεδομένων.

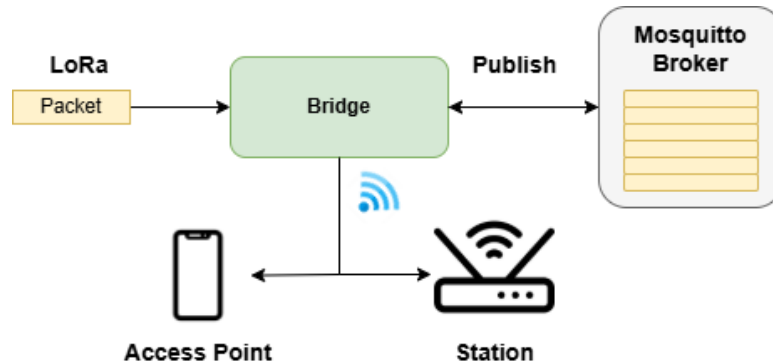


Εικόνα 5.3: Δομή Πακέτου Συλλογής δεδομένων

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η διαδικασία που ακολουθούμε δεν είναι η επίσημη που προβλέπεται από το πρότυπο LoRaWAN. Για την υλοποίηση του προτύπου, χρειαζόμαστε μία κανονική πύλη LoRa (Gateway), πράγμα που θα ανέβαζε το κόστος της υλοποίησης. Παρόλ' αυτά, η

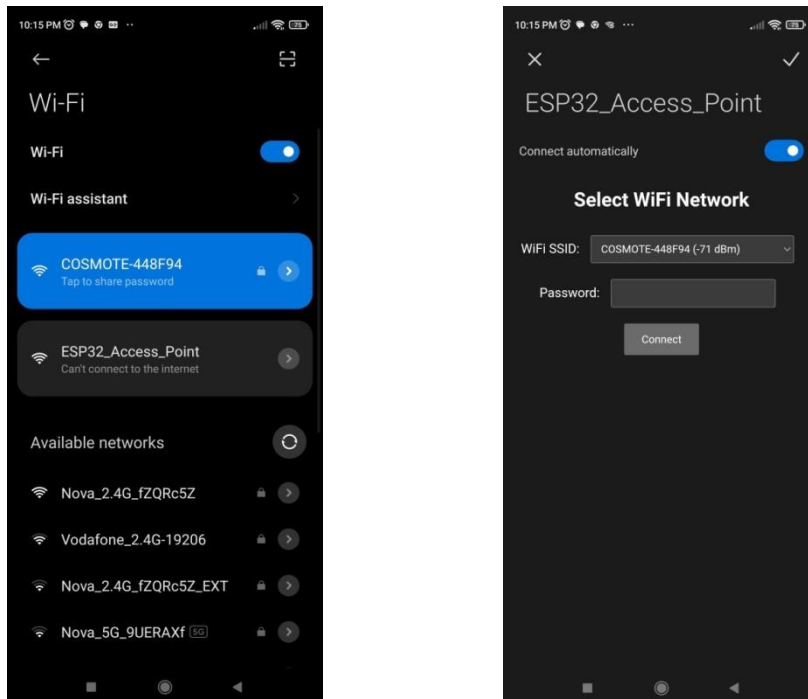
υλοποίηση που παρουσιάζουμε εδώ ακολουθεί το πνεύμα του προτύπου και γενικότερα κάποιον βασικών αρχών που εφαρμόζονται ευρέως σε μεταφορά δεδομένων.

5.3 Κώδικας Κόμβου Γεφύρωσης



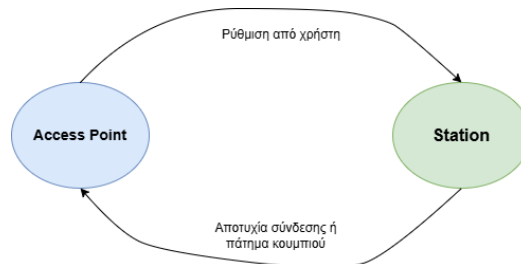
Εικόνα 5.4: Αρχιτεκτονική μεταφοράς δεδομένων από την Γέφυρα στον Μεσίτη (Broker)

Η συσκευή Κόμβου Γεφύρωσης είναι υπεύθυνη για την μεταφορά της πληροφορίας από το πρωτόκολλο LoRa στο WiFi, ώστε η πληροφορία να είναι διαθέσιμη από οποιαδήποτε συσκευή συνδεδεμένη στο Internet. Ακολουθώντας την ίδια λογική του πρωτοκόλλου LoRaWAN, η συσκευή είναι υπεύθυνη για την μεταφορά της πληροφορίας και μόνο.



Εικόνα 5.5: Διακομιστής στο κινητό για επιλογή δικτύου σύνδεσης της συσκευής γεφύρωσης.

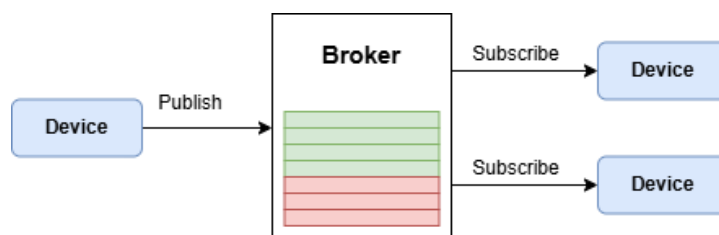
Η συσκευή που γεφυρώνει την επικοινωνία είναι απαραίτητο να συνδέεται στο διαδίκτυο. Η σύνδεση αυτή επιτυγχάνεται μέσω του ενσωματωμένου WiFi που διαθέτει το ESP32. Η λογική που ακολουθεί η συσκευή κατά την αρχικοποίηση συνοψίζεται από το παρακάτω διάγραμμα κατάστασης. Η συσκευή ξεκινά σε ρύθμιση Access Point (AP) δημιουργώντας έναν Server μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα διαθέσιμο δίκτυο ώστε να συνδεθεί η συσκευή μας. Με την επιλογή η συσκευή επανεκκινείται και προσπαθεί να συνδεθεί στο επιλεγμένο δίκτυο σε ρύθμιση Station. Σε περίπτωση αποτυχίας ή πατώντας το διαθέσιμο κουμπί, επιστρέφει σε AP αναζητώντας από τον χρήστη να επιλέξει το δίκτυο στο οποίο θα συνδεθεί.



Εικόνα 5.6: Διάγραμμα κατάστασης WiFi της συσκευής γεφύρωσης.

Επιπλέον, καθώς η ίδια η συσκευή είναι και ο Router παρέχει δυνατότητες CaptivePortal, δηλαδή κάθε συσκευή που συνδέεται στο δίκτυο της, την ανακατευθύνει στην αρχική σελίδα του Server, διευκολύνοντας σημαντικά την διαδικασία ρύθμισης. Κατά την αλλαγή κατάστασης από AP σε Station και αντίστροφα, οι απαιτούμενες ρυθμίσεις σώζονται στην Flash μνήμη του ESP32 με την βοήθεια της βιβλιοθήκης Preferences. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη παρέχει έναν εύκολο τρόπο να αποθηκεύουμε τιμές χρησιμοποιώντας μία δομή παρόμοια με αυτή ενός λεξικού (Map), αντιστοιχώντας τιμές σε κλειδιά. Έτσι αν θέλουμε να αποθηκεύσουμε το SSID του δικτύου θα γράφαμε, `preferences.putString("SSID", "Όνομα Δικτύου")`. Ο Server στήθηκε με την βοήθεια της βιβλιοθήκης AsyncServer. Παρέχει τα endpoint:

- “/” Ως Αρχική σελίδα
- “/scan” που επιστρέφει τα διαθέσιμα Δίκτυα
- “/connect” που κάνει request για σύνδεση στο επιλεγμένο δίκτυο με το συμπληρωμένο κωδικό



Εικόνα 5.7: Αρχιτεκτονική Μεσίτη για μεταφορά δεδομένων.

Στη κατάσταση Station, η συσκευή γέφυρα συνεχίζει στην αρχικοποίηση του LoRaModule και στην σύνδεση στον απομακρυσμένο MQTT Broker. Το MQTT όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι ένα lightweight IoT πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ συσκευών

συνδεδεμένες στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα ο μεσίτης (Broker) είναι ο διαμεσολαβητής, δρομολογώντας απλά μηνύματα σε διευθύνσεις που ονομάζονται Topics. Κάθε συσκευή μπορεί να στείλει πληροφορία (Publish) σε ένα Topic ή να δεχτεί πληροφορία (Subscribe) από ένα Topic. Το κάθε μήνυμα που αποστέλλεται, θα ληφθεί από όλες τις συσκευές που έχουν κάνει Subscribe στον συγκεκριμένο Topic. Επίσης, υποστηρίζεται η χρήση Wildcards, δηλαδή μια συσκευή που κάνει Subscribe στο Topic `"/sensor/data/+"` θα λάβει δεδομένα από όλες τις συσκευές που κάνουν Publish δεδομένα στα Topics:

- `/sensor/data/pressure`
- `/sensor/data/image/infrared` κλπ.

Μετά την αρχικοποίηση σύνδεσης στο MQTT Broker η συσκευή εισέρχεται σε μια ατέρμονη επανάληψη, κατά την οποία ακούει για διαθέσιμα μηνύματα από τις συσκευές συλλογής δεδομένων, ελέγχει αν έχουν σφάλμα εφαρμόζοντας αντίστροφα την μέθοδο CRC, τα αποκρυπτογραφεί χρησιμοποιώντας το γνωστό AES-128 κλειδί και διαβάζει τα δεδομένα. Τέλος, κατασκευάζει ένα JSON που έχει την μορφή `{“id”: 12345, “o2”: --- , “n2”: --- , “vac”: --- }` και το κάνει Publish στο MQTT Broker στο Topic: `/thing/pressure/id`. Με αυτό τον τρόπο, το Backend που server μας που παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα κάνοντας Subscribe στο Topic: `/thing/pressure/+`, μπορεί να λάβει όλα τα μηνύματα από όλες τις συσκευές συλλογής που αποστέλλουν στην συσκευή γεφύρωσης της επικοινωνίας, κάνοντας την αρχιτεκτονικής μας επεκτάσιμη.

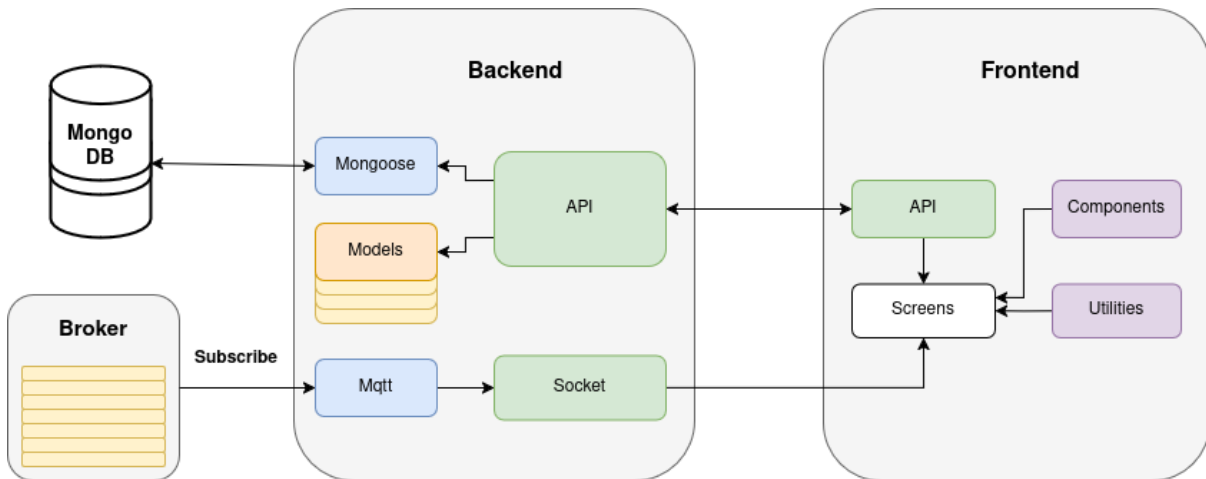
Κεφάλαιο 6ο: Προγραμματισμός Server

6.1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή, οι υποδομές νέφους (Cloud) έχουν ολοένα και αυξανόμενη σημασία. Πέρα της συλλογής των δεδομένων από τις IoT συσκευές, καίριο ρόλο έχει και η αποθήκευσή τους, η επεξεργασία για την παραγωγή στατιστικών, όπως και η οπτικοποίησή τους. Ιδίως η επεξεργασία, έχει δει σημαντική άνθηση με το ερχομό της τεχνητής νοημοσύνης (AI), όπου τεράστια πλέον ποσότητα δεδομένων χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση βαθύ νευρωνικών δεδομένων. Επίσης, το cloud βοηθά στην δημιουργία αυτοματοποιήσεων, στέλνοντας ειδοποιήσεις ή μηνύματα όταν η τιμή κάποια παραμέτρου αποκλίνει.

6.2 Δομή & Μοντέλα

Για την δημιουργία του Server μας, βασιστήκαμε στη Javascript και συγκεκριμένα στη React-js για το frontend και στη Express-js για το Backend. Frontend και Backend λειτουργούν χάρη στη μηχανή Node-js. Επίσης, για την αποθήκευση των δεδομένων βασιστήκαμε στην βάση δεδομένων MongoDB. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η δομή του Server.

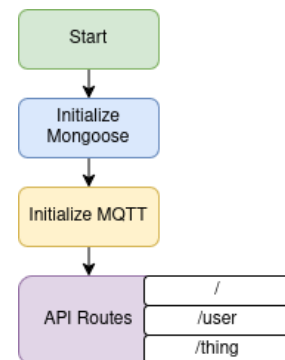


Εικόνα 6.1: Αρχιτεκτονική Διακομιστή για παρακολούθηση - έλεγχο συσκευών

Με βάση το σχήμα μπορούμε να παρατηρήσουμε ο συνδεδεμένος κρίκος του συνολικού συστήματος είναι το Backend. Μέσα στις αρμοδιότητές του είναι:

- Να κάνει Subscribe στον MQTT Broker ώστε να λαμβάνει τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, που μεταβιβάζονται από τις συσκευές τύπου Γέφυρες (Gateways).
- Να κάνει stream τα δεδομένα προς το Frontend.
- Να επικοινωνεί με την βάση δεδομένων MongoDB για την αποθήκευση και ανάκτηση δεδομένων σχετικών με τις μετρήσεις ή με άλλες παραμέτρους της ιστοσελίδας.
- Να εξυπηρετεί τα HTTP Request από το frontend.
- Να “σερβίρει” τις οθόνες του frontend στο χρήστη.

Η διαδικασία αρχικοποίησης φαίνεται και στο διπλανό σχήμα. Όπως μπορούμε να δούμε το πρώτο στάδιο είναι η αρχικοποίηση της βάσης δεδομένων. Ο Server τοπικά μιλά με την βάση δεδομένων που βρίσκεται στο Port: **27017**. Οι κρίσιμες αυτές πληροφορίες βρίσκονται σε έναν φάκελο .env. Έπειτα, προχωράμε στην αρχικοποίηση του MQTT. Για να μπορέσει ο Server να μιλήσει με τον Mosquitto πρέπει σε αυτόν να ενεργοποιήσουμε την επιλογή **websockets** και να ακούει στο Port**9001**. Οι αλλαγές αυτές γίνεται στο `/etc/mosquitto/config` αρχείο στο Ubuntu μηχανήμα μας.



Πέρα από την αρχικοποίηση στον MQTT, ο συγκεκριμένος κώδικας κάνει **subscribe** στο Topic “**thing/pressure/+**”. Με αυτόν τον τρόπο η ρουτίνα μπορεί να λάβει πακέτο από οποιαδήποτε

συσκευή **Μετρητή**, λόγω της χρήση του wildcard χαρακτήρα “+”. Επειτα, για κάθε νέο μήνυμα ακολουθεί η εξής διαδικασία:

- Ελέγχεται το ID του μηνύματος.
- Αν δεν υπάρχει συσκευή στην βάση με αυτό, τότε δημιουργείται μία.
- Προστίθεται μία μέτρηση με αναφορά στη συσκευή αυτή.
- Η συσκευή για την οποία λάβαμε μέτρηση θεωρείται ενεργή.
- Όλες οι ενεργές συσκευές αποστέλλονται κάθε δευτερόλεπτο μέσω socket στον frontend.
- Για να παρακολουθούμε αν μια συσκευή είναι ενεργή, για κάθε μήνυμα που δεχόμαστε ξεκινά μία timeout συνάρτηση, η οποία σε χρόνο : τρέχον + dt ελέγχει αν έχει έρθει καινούργιο μήνυμα. Σε περίπτωση που έρθει, μηδενίζει θεωρώντας ότι η συσκευή είναι ενεργή διαφορετικά τερματίζει.
- Τέλος, κάθε μέτρηση ελέγχετε αν ξεπερνά τα όρια τις συσκευής στην οποία ανήκει. Τα όρια αυτά τίθενται από τον χρήστη. Σε τέτοια περίπτωση δημιουργείται μία εγγραφή τύπου Alert.

Το μοντέλο των Μετρήσεων παρουσιάζει N:1 σχέση με αυτό των συσκευών. Η παραπάνω διαδικασία είναι απαραίτητη ώστε να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των δεδομένων που έρχονται σε πραγματικό χρόνο και της βάσης. Πέρα από τη διαχείριση των συσκευών, γίνεται και η αποκωδικοποίηση των μηνυμάτων με βάση το AES-128.

Τέλος, το backend αρχικοποιεί όλα τα Routes του API. Κάθε HTTP Request ξεκινά από το Route “/” και αναζητά αν ταιριάζει με κάποιο μέχρι να βρει το κατάλληλο. Για παράδειγμα ένα GetRequest στο “/thing/details/id” θα έμπαινε στην τρίτη σελίδα στο σχήμα και μέσα σε αυτή θα έψαχνε το Route “/details/:id” και θα περνούσε στο id την τιμή της παραμέτρου της συσκευής, ώστε η ρουτίνα να ξέρει από ποια συσκευή να επιστρέψει τα δεδομένα. Τα μοντέλα τις βάσης παρουσιάζονται παρακάτω.

```
const UserSchema = new Schema({
  email: { type: String, required: true },
  name: { type: String, default: "" },
  phone: { type: String, default: "" },
  password: {
    type: String,
    required: false,
    select: false,
    minlength: PASSWORD_MIN_LENGTH,
  },
  verified: { type: Boolean, default: false },
  lastActiveAt: { type: Date, default: () => new Date() },
  tokenId: {
    type: String,
    required: false,
    default: null,
  },
}, { timestamps: true, toObject: { versionKey: false } });
UserSchema.plugin(mongooseLeanDefaults.default);

/**
 * Mongoose schema that describes a Promaxon Question
 */
const ThingSchema = new Schema({
  id: { type: String, required: true, unique: true },
  lastActiveAt: { type: Date, default: () => new Date() },
  o2Threshold: {
    min: { type: Number, default: undefined },
    max: { type: Number, default: undefined },
  },
  n2Threshold: {
    min: { type: Number, default: undefined },
    max: { type: Number, default: undefined },
  },
  vacThreshold: {
    min: { type: Number, default: undefined },
    max: { type: Number, default: undefined },
  },
}, { timestamps: true, toObject: { versionKey: false } });
ThingSchema.plugin(mongooseLeanDefaults.default);
```

```

Mongoose schema that describes a Promaxon Question
*/
const PressureDataSchema = new Schema(
  {
    thing: {
      type: ObjectId,
      ref: 'thing',
      required: true
    },
    o2: { type: Number, required: true },
    n2: { type: Number, required: true },
    vac: { type: Number, required: true },
    timestamp: { type: Date, default: () => new Date() },
  },
  { timestamps: true, toObject: { versionKey: false } },
);
PressureDataSchema.plugin(mongooseLeanDefaults.default);

export default mongoose.model("pressure", PressureDataSchema);

```

```

Mongoose schema that describes a Promaxon Question
*/
const AlertSchema = new Schema(
  {
    thing: {
      type: ObjectId,
      ref: 'thing',
      required: true
    },
    text: { type: Array, required: true },
    timestamp: { type: Date, default: () => new Date() },
  },
  { timestamps: true, toObject: { versionKey: false } },
);
AlertSchema.plugin(mongooseLeanDefaults.default);

export default mongoose.model("alert", AlertSchema);

```

Εικόνα 6.2: Πίνακες Χρήστη, Πράγματος, Δεδομένων και Ειδοποιήσεων στην βάση δεδομένων.

6.2 Οθόνες & Λειτουργία

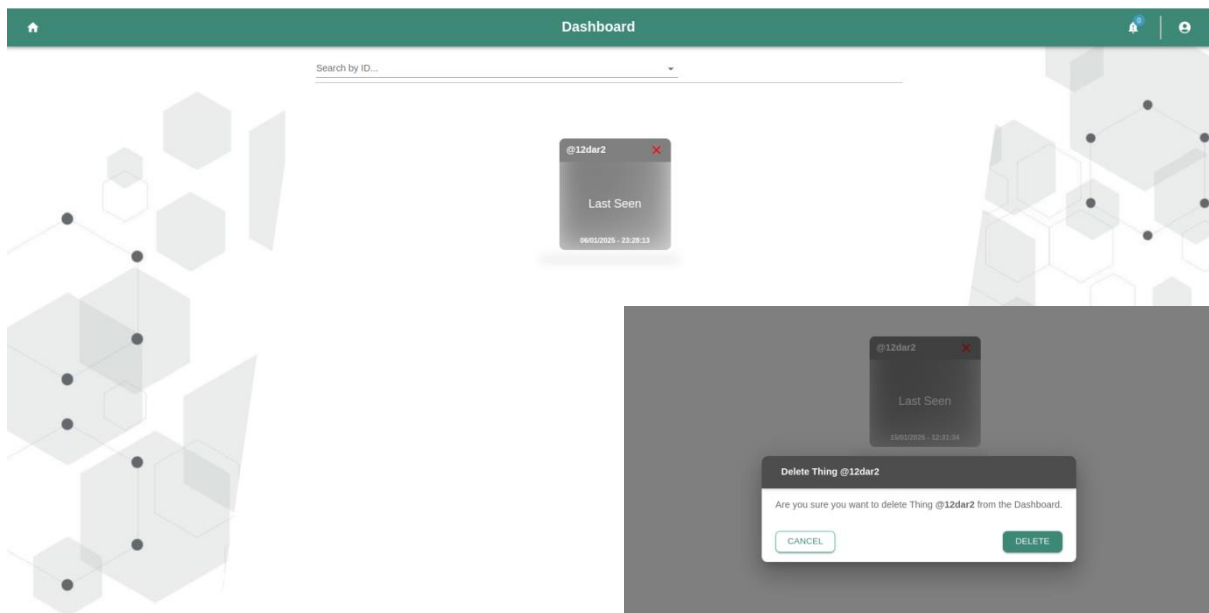
Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε τις οθόνες της εφαρμογής που φτιάξαμε. Όπως και τις δυνατότητες της κάθε μία. Οι οθόνες φτιάχτηκαν χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη **Mui** της React, η οποία επιτρέπει customization σε μεγάλο βαθμό διευκολύνοντας την διαδικασία σχεδίασης.

Η παρακάτω οθόνη είναι η αρχική σελίδα της Ιστοσελίδας. Εδώ η χρήστης μπορεί να κάνει Login, χρησιμοποιώντας το email & τον κωδικό του. Τα πεδία παρέχουν δυνατότητα autofill και το πεδίο του κωδικού παρέχει τη δυνατότητα εμφάνισης ή απόκρυψης. **Σημαντικό:** προκειμένου ο χρήστης να συνδεθεί στις επόμενες σελίδες, πρέπει να δώσει σε αυτή τα σωστά credentials. Η διαδικασία ελέγχου γίνεται ως εξής: Όταν πατάμε το κουμπί **LogIn** αποστέλλεται ένα HTTP request στα publicroutes. Αν τα εισαχθέντα στοιχεία είναι σωστά, δημιουργείται ένα Token το οποίο υπογράφεται με βάσει τα στοιχεία προφίλ του χρήστη καθώς και ένα κρυφό κλειδί του server στον .env αρχείο. Αυτό το κλειδί παραμένει ενεργό για ένα χρονικό διάστημα. Προκειμένου ο χρήστης να λάβει απάντηση από οποιαδήποτε από τα επόμενα routes πρέπει πρώτα να έχει ένα αληθές token.



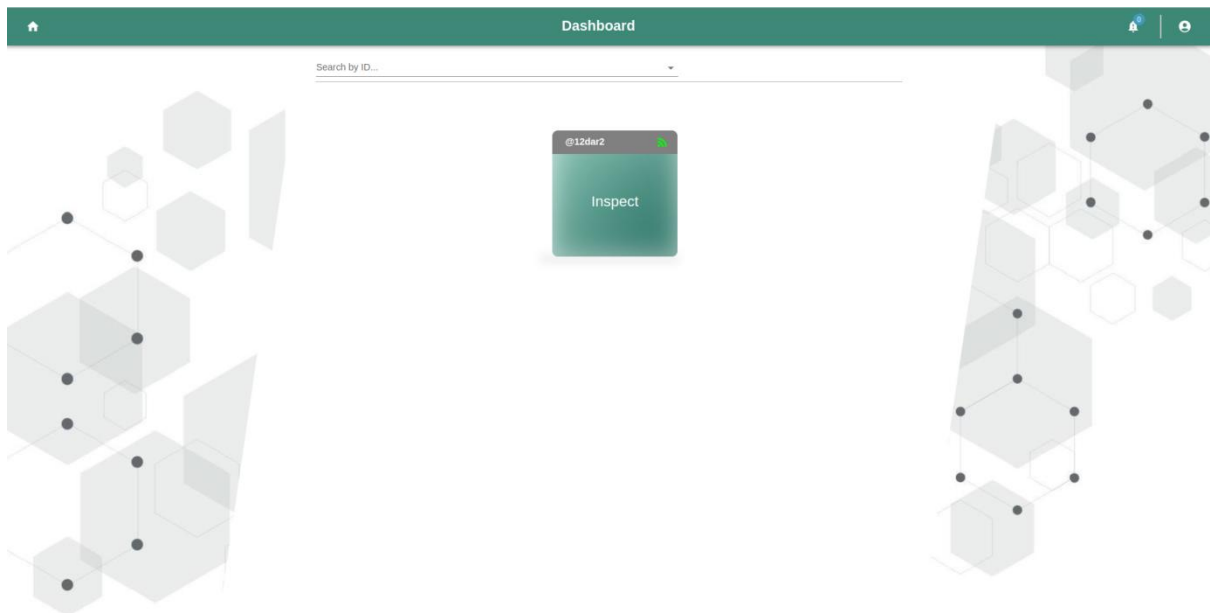
Εικόνα 6.3: Οθόνη αρχικής σελίδας σύνδεσης στην εφαρμογή.

Σε περίπτωση ανεπιτυχούς σύνδεσης εμφανίζεται σχετική ειδοποίηση παραπέμποντας τον χρήστη στη αιτία αυτού. Διαφορετικά ο χρήστη μεταφέρεται στο Homepage που φαίνεται παρακάτω. Σε αυτό έχουμε την μπάρα πλοήγησης στην οποία μπορεί να επιλέξει το Home, την σελίδα με τις ειδοποιήσεις “Καμπανάκι” ή τα στοιχεία του profil του. Στο περιεχόμενο έχουμε μία μπάρα αναζήτησης συσκευών με βάση το ID, ενώ από κάτω βρίσκονται όλες οι συσκευές ενεργές και μη. Οι ενεργές παρουσιάζονται με **Πράσινο** χρώμα, ενώ οι ανενεργές με γκρι και σημειώνουν την τελευταία χρονική στιγμή που λάβαμε δεδομένα από αυτές, δηλαδή όταν έγινε timeout ο χρονοστίχης παρακολούθησης στο backend.



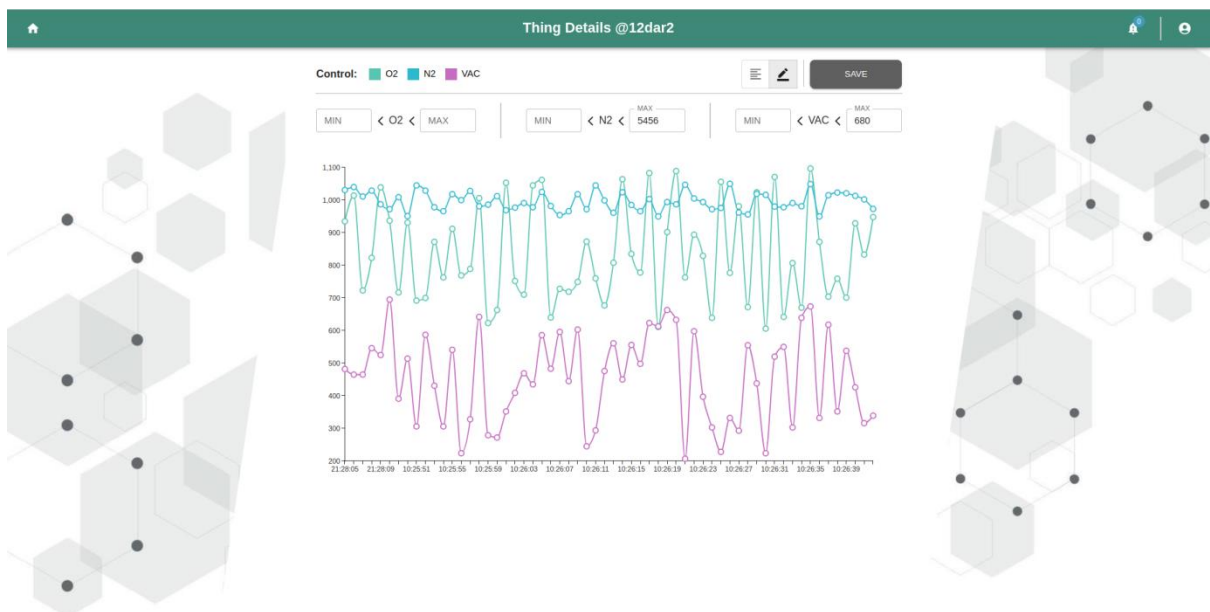
Εικόνα 6.4: Οθόνη προβολής διαθέσιμων συσκευών συλλογής δεδομένων.

Ο χρήστης μπορεί να αφαιρέσει μία ανενεργή συσκευή από το ιστορικό, επιλέγοντας το “X”, όπου κατευθύνεται σε σχετικό παράθυρο που ζητά επιβεβαίωση της απόφασής του.



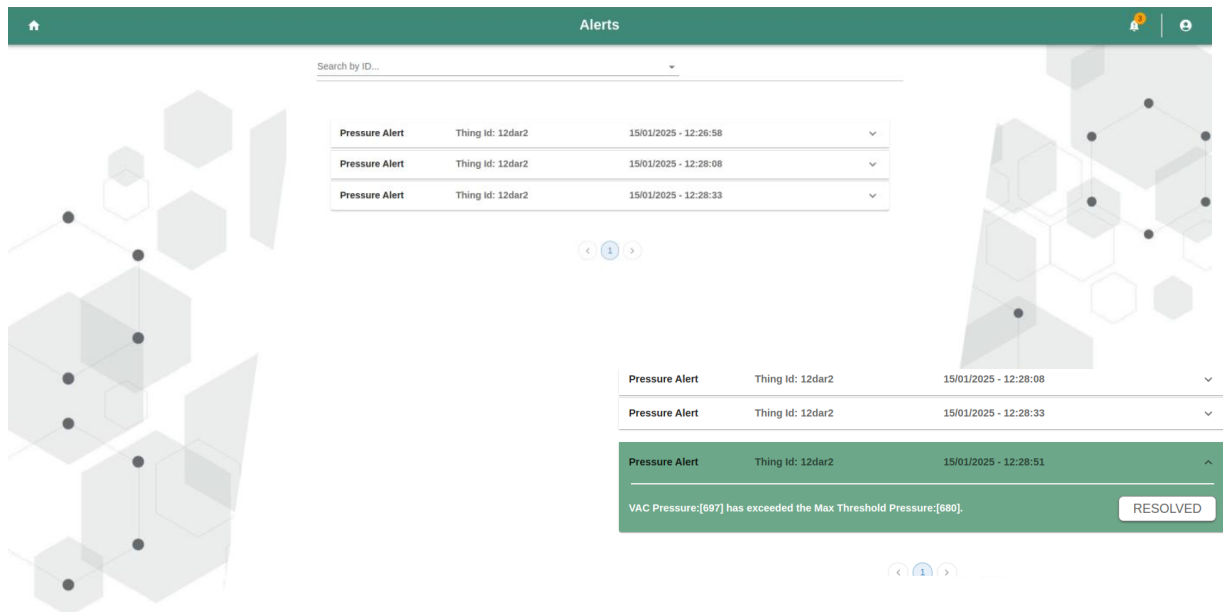
Εικόνα 6.5: Οθόνη προβολής διαθέσιμων συσκευών με ενεργή συσκευή.

Πατώντας Inspect στις ενεργές συσκευές, μεταφερόμαστε στις λεπτομέρειες τις εκάστοτε συσκευής, η οποία φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 6.6: Οθόνη προβολή λεπτομερειών των δεδομένων συσκευής.

Εδώ ο χρήστης, μπορεί να δει σε πραγματικό χρόνο τις μετρήσεις του συστήματος, μπορεί να επιλέξει να αποκρύψει κάποιες από αυτές. Σε κάθε επίσκεψη στη σελίδα εισάγονται οι τελευταίες 60 αποθηκευμένες μετρήσεις στη βάση δεδομένων. Το γράφημα ακολουθεί τη λογική ενός slidingwindow. Παράλληλα, ο χρήστης μπορεί να θέσει όρια (κάτω, άνω) σε κάθε μία από τις τιμές. Αν δεν υπάρχει τιμή ορίου σε κάποια κατηγορία δεν πραγματοποιείται έλεγχος. Διαφορετικά αν κάποια μέτρηση βγει εκτός των ορίων δημιουργείται μία ειδοποίηση με ένα ηχητικό μήνυμα. Το πλήθος των ειδοποιήσεων εμφανίζεται ως αριθμός στον “**Καμπανάκι**”. Πατώντας του, ο χρήστης μεταβαίνει στη σελίδα ειδοποιήσεων, όπου μπορεί να τις δει και αν έχουν επιλυθεί να τις διαγράψει.



The screenshot shows a web interface titled "Alerts". At the top, there is a search bar labeled "Search by ID...". Below it, a table lists three "Pressure Alert" entries, each with "Thing Id: 12dar2" and a timestamp from 15/01/2025. A navigation bar below the table shows a page indicator "1". To the right, a detailed view of an alert is shown, with a green background and a "RESOLVED" button. The alert text reads: "VAC Pressure:[697] has exceeded the Max Threshold Pressure:[680]."

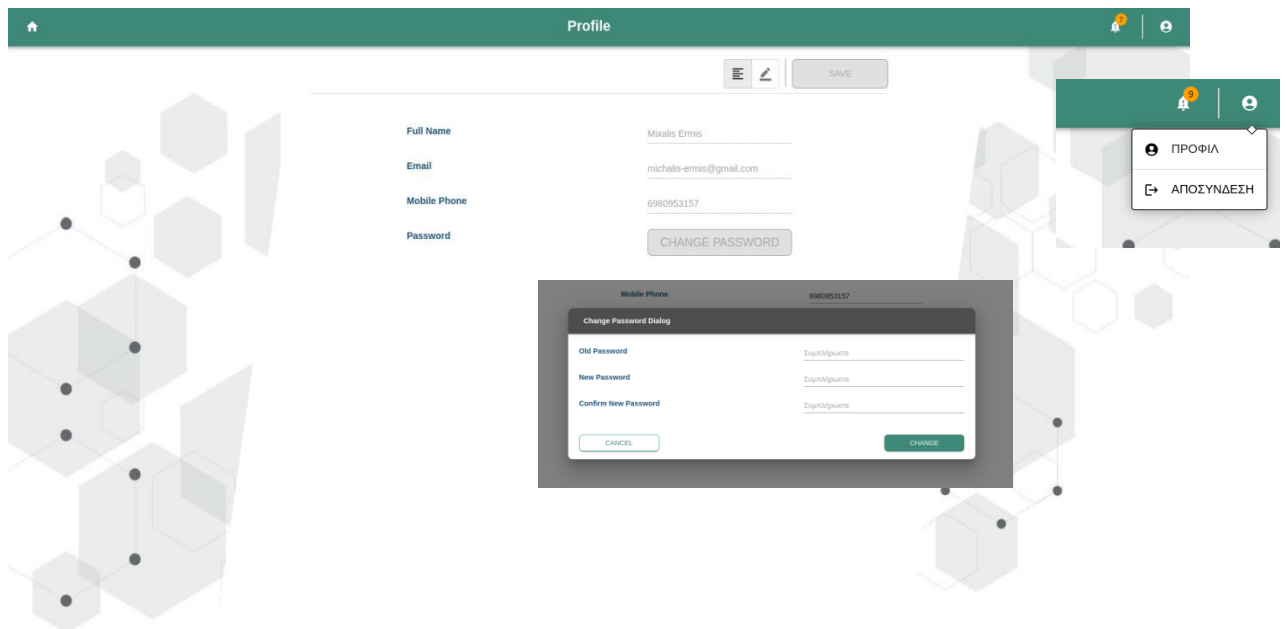
Alert Type	Thing Id	Timestamp
Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:26:58
Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:28:08
Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:28:33

Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:28:08
Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:28:33
Pressure Alert	Thing Id: 12dar2	15/01/2025 - 12:28:51

VAC Pressure:[697] has exceeded the Max Threshold Pressure:[680]. **RESOLVED**

Εικόνα 6.7: Οθόνη προβολής διαθέσιμων ειδοποιήσεων.

Τέλος, έχουμε την οθόνη του λογαριασμού, όπου ο χρήστης μπορεί να αλλάξει τα στοιχεία του λογαριασμού του, ενώ παράλληλα παρέχεται και η δυνατότητα αποσύνδεσης από τον λογαριασμό του, μέσω του κεντρικού μενού.



Εικόνα 6.8: Οθόνη προβολής του προφίλ του χρήστη.

Κεφάλαιο 8ο: Συμπεράσματα & Μελλοντικές Επεκτάσεις

Κατά την διαδικασία εκπόνησης της παρούσας Διπλωματικής εργασίας συναντήσαμε αρκετές δυσκολίες, οι οποίες κυρίως είχαν να κάνουν με το μεγάλο γνωστικό εύρος που έπρεπε να καλυφθεί από το σχεδιασμό και συναρμολόγηση των πλακετών και τον προγραμματισμό τους, μέχρι την δημιουργία του Server και της βάσης δεδομένων. Το μεγαλύτερο εμπόδιο ήταν η διαδικασία συντονισμού όλων των επιμέρους συσκευών προκειμένου η συνολική διάταξη να λειτουργεί αρμονικά, οι συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους όπως επίσης και με το κινητό και τον απομακρυσμένο Server. Προκειμένου να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα που παρουσιάζουμε εδώ χρειάστηκαν αλληπάλληλες φάσεις πειραματισμού και δοκιμών, οι οποίες κατά βάση ήταν αρκετά χρονοβόρες.



Στα πλαίσια της Διπλωματικής εργασίας, θεωρούμε ότι φτάσαμε στο στόχο, ο οποίος ήταν η δημιουργία ενός εύρωστου συστήματος παρακολούθησης ιατρικού εξοπλισμού. Συμπεριλάβαμε όλα τα στάδια από σχεδιασμό και συναρμολόγηση του Υλικού μέχρι την δημιουργία ενός Server για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των απομακρυσμένων συσκευών. Καθόλη την διάρκεια καταφέραμε να κρατήσουμε το συνολικό κόστος υλικού αρκετά χαμηλό (κάτω των 40 ευρώ), ενώ καταφέραμε να ενσωματώσουμε αρκετούς μηχανισμούς για αποθορυβοποίηση και κρυπτογράφηση των μεταφερόμενων μηνυμάτων.

Λόγω της πολυπλοκότητας της τελικής διάταξης οι μελλοντικές επεκτάσεις και διορθώσεις είναι πολλές, παρόλ' αυτά εδώ θα αναφερθούμε σε μερικές από τις πιο σημαντικές.

- Είναι κρίσιμο να χρησιμοποιηθούν αισθητήρες πίεσης καλύτερης ακρίβειας καθώς και να γίνει συνολικά μια πιο ενδελεχής μελέτη για το πως επηρεάζονται οι πιέσεις από την ροή του αέρα του κάθε σωλήνα.
- Για λόγω προτύπου, θα ήταν καλό να χρησιμοποιηθεί μία κανονική πύλη Gateway συμβατή με LoRaWAN η οποία προσφέρει πολλές επιπλέον δυνατότητες κρυπτογράφησης, διευθυνσιοδότητος, υποστήριξης μεγάλου αριθμού συσκευών καθώς και αποθορυβοποίησης των μηνυμάτων, μέσω επαναλαμβανόμενης εκπομπής των πακέτων τους.
- Η πλατφόρμα μας θα πρέπει να επιτρέπει σε κάθε χρήστη να διαθέτει και να διαχειρίζεται τις δικές του συσκευές (Ownership), να τις μοιράζεται όπως επίσης και να παρέχει επιπλέον δυνατότητες ρύθμισης των παραμέτρων τους και των παραμέτρων των χρηστών. Να πρέπει, επίσης, να έχει ιεραρχία χρηστών με Admins και εισαγωγή και διαγραφή χρηστών.
- Στην κατασκευή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν καλύτερα υλικά τα οποία να είναι πλήρως αεροστεγή ώστε να βελτιώσουμε τις μετρήσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

IoT Analytics. (n.d.). *Number of connected IoT devices growing to 27 billion in 2025*. Retrieved February 24, 2025, from <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/>

GSMA Intelligence. (2023). *IoT connections forecast to 2030*. Retrieved February 24, 2025, from <https://data.gsmainelligence.com/research/research/research-2023/iot-connections-forecast-to-2030>

Statista. (n.d.). *Number of IoT connected devices worldwide 2019-2030*. Retrieved February 24, 2025, from <https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide/>

Euristiq. (n.d.). *Types of IoT networks: A guide to connectivity technologies*. Retrieved February 24, 2025, from <https://euristiq.com/types-of-iot-networks/>

Smith, S. (n.d.). *Sendra Smith* (12th ed.).

Stroustrup, B. (2013). *The C++ programming language* (4th ed.). Addison-Wesley.

Ferreira, R., & Santos, L. (n.d.). *Build Web Servers with ESP32 and ESP8266* (2nd ed.).

Instructables. (n.d.). *ESP32 LoRa Transceiver*. <https://www.instructables.com/ESP32-LoRa-Transceiver/>

The Things Network. (n.d.). *What is LoRaWAN?*.
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/>

Καλοβρέκτης, Κ., & Κατεβάς, Ν. (n.d.). *Τεχνολογία μετρήσεων: Σχεδίαση και ανάπτυξη συστημάτων μετρήσεων & συστημάτων συλλογής δεδομένων* (2η έκδοση).

TechCheck. (n.d.). *Creating a React, Node and Express App*. DEV Community.
<https://dev.to/techcheck/creating-a-react-node-and-express-app-1ieg>

EMQX. (n.d.). *ESP32 Connects to the Free Public MQTT Broker*.
<https://www.emqx.com/en/blog/esp32-connects-to-the-free-public-mqtt-broker>

MUI. (n.d.). *Get started with Material UI*. <https://mui.com/material-ui/getting-started/learn/>

MongoDB. (n.d.). *Express & MongoDB REST API Tutorial*.
<https://www.mongodb.com/resources/languages/express-mongodb-rest-api-tutorial>