



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Διπλωματική Εργασία

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών.

**Συγγραφέας:
Ντουζέπης Σάββας
Αριθμός Μητρώου: 18389254**

**Επιβλέπων:
Ευάγγελος Πάλλης
Καθηγητής**

Αιγάλεω, Οκτώβριος 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN
AND PRODUCTION ENGINEERING**

Diploma Thesis

Sensor network for monitoring atmospheric conditions.

Author:

Ntouzepis Savvas

Registration Number: 18389254

Supervisor:

Evangelos Pallis

Professor

Egaleo, October 202

Η πτυχιακή εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΠΑΛΛΗΣ	
2	ΕΛΕΝΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΛΕΛΙΓΚΟΥ	
3	ΧΡΗΣΤΟΣ ΔΡΟΣΟΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ντουζέπης Σάββας του Χαραλάμπους, με αριθμό μητρώου 18389254 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Ο/Η Δηλών/ούσα



Περίληψη

Στόχος της διπλωματικής είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση αυτόνομων ασύρματων κόμβων χαμηλής κατανάλωσης με την χρήση του πρωτόκολλου επικοινωνίας LoRaWan εφοδιασμένων με τους κατάλληλους αισθητήρες για την συλλογή δεδομένων και την παρακολούθηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών συγκεκριμένα για την πρόβλεψη και μελέτη της αντιληπτής θερμοκρασίας.

Τα δεδομένα επεξεργάζονται τοπικά αξιοποιώντας το υπολογιστικό μοντέλο edge computing και στην συνέχεια μέσω της πύλης διασύνδεσης στέλνονται στην διαδικτυακή πλατφόρμα The Things Network που αποκωδικοποιούνται και μετατρέπονται σε πραγματικές τιμές δεδομένων για να σταλούν στην πλατφόρμα ThingSpeak για πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας με την χρήση αλγορίθμου ,ανάλυση και οπτικοποίηση των δεδομένων σε φιλικό περιβάλλον για τον χρήστη.

Έπειτα οι προβλέψεις που έγιναν τοπικά συγκρίνονται με την πρόβλεψη που έγινε με τον αλγόριθμο στην πλατφόρμα ThingSpeak αλλά και με τον πίνακα εκτιμώμενων θερμοκρασιών.

Λέξεις Κλειδιά: IoT, LoRaWAN, Gateway, ThingSpeak, TheThingsNetwork, Νέφος, Pycom, FiPy, Γραμμική Παλινδρόμηση, Αντιληπτή Θερμοκρασία, Ατμοσφαιρικές Συνθήκες.

Abstract

The objective of this thesis is the study, design, and implementation of autonomous, low-power wireless nodes using the LoRaWAN communication protocol, equipped with appropriate sensors for data collection and monitoring of atmospheric conditions, specifically for the prediction and study of the apparent temperature.

The data is processed on edge and then sent through the gateway to The Things Network online platform, where it is decoded and converted into actual data values to be sent to the ThingSpeak platform for apparent temperature prediction using an algorithm, analysis, and visualization of the data in a user-friendly environment.

Subsequently, the on edge made predictions are compared with the predictions made by the algorithm on the ThingSpeak platform as well as with the table of estimated temperatures.

Keywords: IoT, LoRaWAN, Gateway, ThingSpeak, TheThingsNetwork, Cloud, Pycom, FiPy, Linear Regression , Apparent Temperature, Atmospheric Conditions.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract.....	6
Κατάλογος εικόνων.....	10
Κατάλογος πινάκων	11
Εισαγωγή.....	12
Αντικείμενο της Διπλωματικής εργασίας	12
Σκοπός και Στόχοι.....	12
Κεφάλαιο 1 Θεωρία	13
1. Συστήματα IoT	13
1.1 Ορισμός	13
1.2 Χαρακτηριστικά	14
1.3 Αρχιτεκτονική.....	16
1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	17
1.5 Εφαρμογές IoT	18
2. Δίκτυα LPWAN και LoRa.	24
2.1 LPWAN (Low-power wide-area network).....	24
2.2 LoRa	25
2.3 LoRa WAN.....	25
2.4 Gateways και Συχνότητες λειτουργίας.....	26
3. Πλατφόρμες Υπολογιστικού Νέφους.....	27
3.1 Ορισμός	27
3.2 Χρήση σε IoT Εφαρμογές	27
3.3 Κατηγορίες υπολογιστικού νέφους.	27
3.4 Μοντέλα ανάπτυξης υπολογιστικού νέφους	28
Κεφάλαιο 2 Ατμοσφαιρικές Συνθήκες	29
1. Ατμοσφαιρικοί παράγοντες.....	29
1.1 Θερμοκρασία	29
1.2 Υγρασία	30
1.3 Ταχύτητα Ανέμου	30
1.4 Νέφη και βροχοπτώσεις	30

1.5 Ατμοσφαιρική Πίεση.....	31
2. Αντιληπτή θερμοκρασία (Apparent temperature).....	32
2.1 Ορισμός.....	32
2.2 Σημασία.....	32
2.3 Τρόποι πρόβλεψης.....	32
2.4 Μοντέλα και μηχανισμοί πρόβλεψης της αισθητής θερμοκρασίας που επιλέχθηκαν. ...	33
Κεφάλαιο 3 Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος πρόβλεψης αντιληπτής θερμοκρασίας με LoRa.....	35
Δομή εφαρμογής.....	35
1. Σχεδιασμός.....	35
1.1 Gateway.....	35
1.2 Πλακέτα ανάπτυξης Pycom Fipy.....	36
1.3 PySense Shield.....	39
1.4 Νεφοϋπολογιστικές πλατφόρμες συλλογής δεδομένων.....	43
1.5 Λογισμικό προγραμματισμού FiPy.....	43
2. Υλοποίηση.....	45
2.1 Παρουσίαση.....	45
2.2 Επεξήγηση της κατασκευής.....	46
2.3 Τοπολογία εφαρμογής.....	46
2.4 Σύνδεση του κόμβου με το TTN για την αποστολή δεδομένων.....	47
2.5 Πλατφόρμα ThingSpeak και πρόβλεψη στο Cloud.....	49
2.6 Αλγόριθμος πρόβλεψης on edge.....	52
3. Σενάριο Λειτουργίας και πειραματικά αποτελέσματα.....	53
1. Σενάριο Λειτουργίας.....	53
2. Σύγκριση αποτελεσμάτων αλγορίθμων Cloud και Edge.....	57
Κεφάλαιο 4 Σύνοψη συμπεράσματα και παρατηρήσεις.....	61
1. Σύνοψη.....	61
2. Συμπεράσματα.....	61
3. Παρατηρήσεις.....	62
Παράρτημα.....	63
Pycom Firmware.....	63

Matlab Code.....	66
Matlab Analysis ThingSpeak Code.....	68
Payload Formatter Script.....	69
Βιβλιοθήκες κώδικα	70
Μετρήσεις εκπαίδευσης μοντέλου.....	71
Βιβλιογραφία	80
Πηγές εικόνων.....	84

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Internet of Things	14
Εικόνα 2 Χαρακτηριστικά IoT.....	15
Εικόνα 3 Αρχιτεκτονική IoT.....	16
Εικόνα 4 Εφαρμογές του διαδικτύου των αντικειμένων	18
Εικόνα 5 Εφαρμογές IoT στην γεωργία.....	19
Εικόνα 6 Εφαρμογές στον αστικό ιστό.....	21
Εικόνα 7 IoT στην εφοδιαστική αλυσίδα	23
Εικόνα 8 Διάγραμμα κάλυψης δικτύων	24
Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική εφαρμογής με δίκτυο LoRaWan.....	25
Εικόνα 10 Τύπος Heat Index (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου - προγνώστη Ζιακόπουλος Σελ.60)	33
Εικόνα 11 Πύλη διασύνδεσης LORIX One.....	36
Εικόνα 12 Πραγματική φωτογραφία Firy.	37
Εικόνα 13 Firy Block Diagram	38
Εικόνα 14 Firy Pinout	38
Εικόνα 15 PySense Pinout Πλακέτα επέκταση με αισθητήρες	39
Εικόνα 16 Πραγματική φωτογραφία Pysense.....	39
Εικόνα 17 Ο αισθητήρας SI7006A20.	40
Εικόνα 18 Αισθητήρας MPL3115A2	41
Εικόνα 19 Αισθητήρας LTR329ALS01.	41
Εικόνα 20 Αισθητήρας LIS2HH12.....	42
Εικόνα 22 Κατασκευή	45
Εικόνα 23 Διάγραμμα ροής εφαρμογής.....	46
Εικόνα 24 Payload Formatter	48
Εικόνα 25 Λήψη δεδομένων στο TTN από τον μικροελεγκτή.	49
Εικόνα 26 TTN Thingspeak Webhook.....	50
Εικόνα 27 Κανάλι επικοινωνίας Thingspeak.....	50
Εικόνα 28 Matlab Analysis για την εκτέλεση αλγορίθμων στο Cloud.....	51
Εικόνα 29 Οπτικοποίηση στο ThingSpeak.....	51
Εικόνα 21 Αισθητήρας ταχύτητας αέρα η ανεμόμετρο.	53
Εικόνα 30 Συντελεστές (Coefficients) και δείκτες απόδοσης γραμμικής παλινδρόμησης MatLab	54
Εικόνα 31 Οπτική απεικόνιση του μοντέλου.....	55
Εικόνα 32 Γραφήματα μετρήσεων ThingSpeak	57
Εικόνα 33 Πίνακας Heat Index (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου - προγνώστη Ζιακόπουλος Σελ.60)	58

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Μετρήσεις και προβλέψεις από το ThingSpeak

Πίνακας 2 Μετρήσεις εκπαίδευσης μοντέλου

Εισαγωγή

Την σημερινή εποχή πολλές σύγχρονες επιστημονικές ανακαλύψεις και αντίστοιχες τεχνολογικές εφαρμογές, έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινότητά μας, δίνοντας μας την ευχέρεια να διαχειριζόμαστε τις πηγές ενέργειας, τις πρώτες ύλες, το ανθρώπινο δυναμικό, τους οικονομικούς πόρους με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζουμε ενεργειακή εξοικονόμηση, ελάχιστη κατανάλωση των υλών αναλογικά με την παραγωγή, διαρκή εκπαίδευση, επικοινωνία, ασφάλεια των εργαζομένων και επενδυτικά προγράμματα με τα χαμηλότερα κόστη.

Μία από τις τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται σχεδόν σε όλες τις κοινωνικές, επιχειρηματικές, επιστημονικές δραστηριότητες, είναι Το διαδίκτυο των πράγματος (Internet of Things – IoT), ένα δίκτυο που σε αυτό ενσωματώνονται καθημερινά νέες συσκευές και αξιοποιείται σε πλήθος εφαρμογών που θα ήταν δύσκολο να υλοποιηθούν με άλλον τρόπο.

Αντικείμενο της Διπλωματικής εργασίας

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευή και η μελέτη ενός IoT συστήματος το οποίο με την χρήση ενός δικτύου LoraWan και ενός μικροελεκτή rycom συλλογή δεδομένα σχετικά με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες επεξεργάζονται τοπικά και στην συνέχεια αποστέλλονται σε cloud για την περαιτέρω επεξεργασία και πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας (Apparent temperature).

Σκοπός και Στόχοι

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και η ανάπτυξη μια δικτυακής υποδομής χρησιμοποιώντας της τεχνολογία LoRaWAN και IoT κόμβων με μικροελεγκτή για την καταγραφή και επεξεργασία (edge computing) και αποστολή ατμοσφαιρικών δεδομένων πόλεων σε μια πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους (The Things Network) για περαιτέρω ανάλυση. Κύριο ρόλο στην διπλωματική αυτή έχει η χρήση αλγορίθμου πρόβλεψης για τον υπολογισμό της αντιληπτής θερμοκρασίας στο ανθρώπινο σώμα (Apparent Temperature). Η εν λόγω εργασία δεν εστιάζει μόνο στις ατμοσφαιρικές μετρήσεις και στις μεθόδους πρόβλεψης της αντιληπτής θερμοκρασίας ταυτόχρονα πραγματεύεται τεχνικά ζητήματα απαραίτητα για την υλοποίηση της εφαρμογής όπως η μέτρηση των ατμοσφαιρικών συνθηκών με τον IoT κόμβο PyCom, η επεξεργασία των δεδομένων επί τόπου (edge computing), η διασύνδεση του Pycom με την πύλη διασύνδεσης (gateway) για την αποστολή των δεδομένων που συλλέγονται από τους αισθητήρες του PyCom και την μεταφορά τους στην νεφουπολογιστική πλατφόρμα, για περαιτέρω ανάλυση, επεξεργασία και οπτικοποίηση των δεδομένων.

Κεφάλαιο 1 Τεχνολογίες Διαδικτύου των Πραγμάτων

1. Συστήματα IoT

1.1 Ορισμός

Το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (Internet of Things) είναι ο όρος που δημιουργήθηκε για να περιγράψει τα συστήματα που επινοήθηκαν με αντικειμενικό σκοπό να συνδέσουν με την χρήση αισθητήρων στο διαδίκτυο, δεδομένα και πληροφορίες που πραγματικά συμβαίνουν. Είναι ηλεκτρονικές - υπολογίσιμες συσκευές αλληλένδετες και συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, μέσω του οποίου ανταλλάσσουν και επεξεργάζονται δεδομένα.

Η διαφορά με την αμέσως προγενέστερη κατάσταση ήταν ότι πρόσβαση στο διαδίκτυο είχαν ορισμένες συσκευές ενώ με το Διαδίκτυο των Αντικειμένων όλες οι συσκευές συνδέονται ασύρματα ως προς την χρήση, παρακολούθηση, έλεγχο, καταγραφή και εκμετάλλευση. Το IoT είναι δίκτυο που αναπτύσσεται συνεχώς με δυνατότητα ένταξης στο περιβάλλον του όλων των συσκευών, λογισμικών, και δικτύων επικοινωνίας.

Η πρακτική χρήση IoT ουσιαστικά περιγράφει αλληλένδετες συσκευές με αισθητήρες που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης, ανταλλαγής και αυτόνομης επεξεργασίας δεδομένων με άλλες συσκευές IoT και πλατφόρμες Cloud χωρίς να απαιτείται η παρουσία του χρήστη σε κάθε σημείο της διαδικασίας. Σε αυτά τα σύνολα περιλαμβάνονται ηλεκτρονικές, μηχανικές και ψηφιακές μηχανές αλλά και επικοινωνιακά συστήματα και αντικείμενα καταναλωτικής χρήσης. Τα αντικείμενα ενός IoT συστήματος αποτελούνται από hardware και software τα οποία συνεργάζονται ώστε να μπορούν να αλληλοεπιδρούν με τά δεδομένα που συλλέγουν. Το hardware είναι μικροελεγκτές, αισθητήρες, κυκλώματα πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας και άλλα κυκλώματα τα οποία είναι αναγκαία για την ομαλή λειτουργία του αντικειμένου. Το software είναι εξίσου σημαντικό καθώς εξασφαλίζει την λειτουργία του συστήματος προγραμματίζοντας τα αντικείμενα ώστε να αποδίδουν τον επιθυμητό σκοπό καθώς το hardware δεν αποτελεί από μόνο του λειτουργική μονάδα. Μέσω του software καθορίζεται ποιος από τους αισθητήρες που έχει ο κόμβος θα ενεργοποιηθεί και τότε θα κάνει την μέτρηση, ποιος ενεργοποιητής θα λειτουργήσει και ποια χρονική στιγμή, πότε θα σταλούν τα δεδομένα στο κεντρικό σημείο του δικτύου (gateway) ή σε οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο του δικτύου, για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση (edge computing) ή άλλες προβλεπόμενες διαδικασίες.[3],[16]

1.2 Χαρακτηριστικά

A) Νοημοσύνη

Τα Δίκτυο των Αντικειμένων είναι συστήματα νοημοσύνης καθώς συνδυάζουν αλγορίθμους και διεργασίες software και hardware που τους επιτρέπουν να αντιδρούν με ευφυΐα σε μια κατάσταση ώστε να επιτύχουν τον στόχο για τον οποίο έχουν δημιουργηθεί.



Εικόνα 1 Internet of Things

B) Ταυτότητα

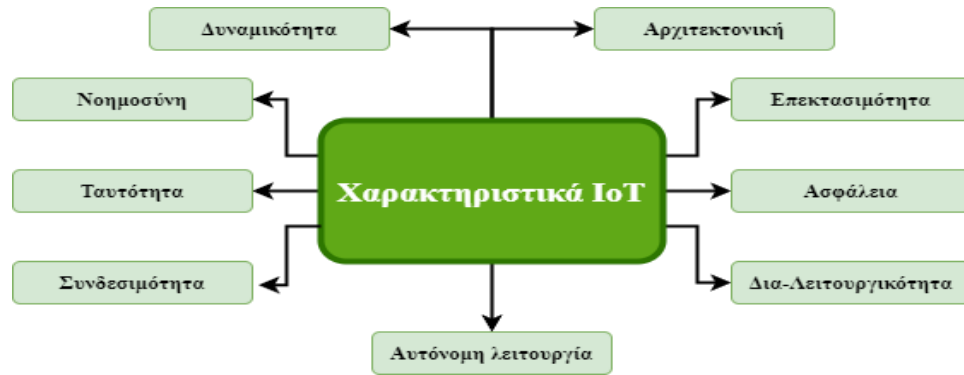
Η ταυτότητα κάθε αντικειμένου μας επιτρέπει να διακρίνουμε πολλαπλές συσκευές εντός του δικτύου και να επιλέξουμε τη συσκευή στην οποία θέλουμε να επικοινωνήσουμε. Ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων που παράγονται, κάθε συσκευή απαιτεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο ελέγχου. Είναι σημαντικό να παρέχουμε σε κάθε συσκευή μια ξεχωριστή ταυτότητα, ώστε να μπορούμε να ορίσουμε μέτρα ασφαλείας. Για παράδειγμα, κωδικοί πρόσβασης, τα δακτυλικά αποτυπώματα και βιομετρικά στοιχεία είναι μερικά μέτρα ασφαλείας που χρησιμοποιούνται.

Γ) Συνδεσιμότητα

Κύριο γνώρισμα των IoT είναι η συνδεσιμότητα δυο ή περισσότερων συσκευών. Αυτό βοηθά στην επικοινωνία και την κοινή χρήση πληροφοριών μεταξύ των αντικειμένων. Επιτρέπει την συμβατότητα και την προσβασιμότητα στο δίκτυο. Η συνδεσιμότητα επιτρέπει επίσης τον απομακρυσμένο έλεγχο των αντικειμένων.

Δ) Δυναμικότητα

Η ικανότητα των IoT δικτύων να αντιλαμβάνονται τις αλλαγές στο περιβάλλον τους και να αυτό προσαρμόζονται αντιδρώντας αναλόγως με σκοπό την ανάπτυξη και προσαρμογή του συστήματος.



Εικόνα 2 Χαρακτηριστικά IoT

Ε) Αρχιτεκτονική

Η κάθετη αύξηση του πλήθους των IoT συσκευών απαιτεί την διατήρηση της ετερογένειας μεταξύ τους καθότι είναι καθοριστικό γι' αυτά να υποστηρίζουν διαφορετικές τεχνολογίες και πρωτόκολλα κατά την επικοινωνία μεταξύ τους.

ΣΤ) Επεκτασιμότητα

Η δυνατότητα του συστήματος να αναπτύσσεται χωρίς να αλλοιώνει τις επιδόσεις του. Αυτό επιτυγχάνεται προσθέτοντας περισσότερο hardware ή βελτιστοποιώντας το λογισμικό κατάλληλα. Κάθε IoT σύστημα πρέπει να δημιουργείται με γνώμονα την επεκτασιμότητα καθώς είναι αναπόσπαστο χαρακτηριστικό των IoT.

Ζ) Ασφάλεια

Με την σύνδεση των αντικειμένων - συσκευών στο δίκτυο τα ευαίσθητα προσωπικά δεδομένα των χρηστών εκτίθενται σε ενδεχόμενες κυβερνοεπιθέσεις. Οπότε σημαντικό στα IoT δεν είναι μόνο το πλήθος των λειτουργιών και δυνατοτήτων που μας προσφέρει αλλά η ασφάλεια του δικτύου για την αποφυγή διαρροών των δεδομένων.

Η) Δια-λειτουργικότητα

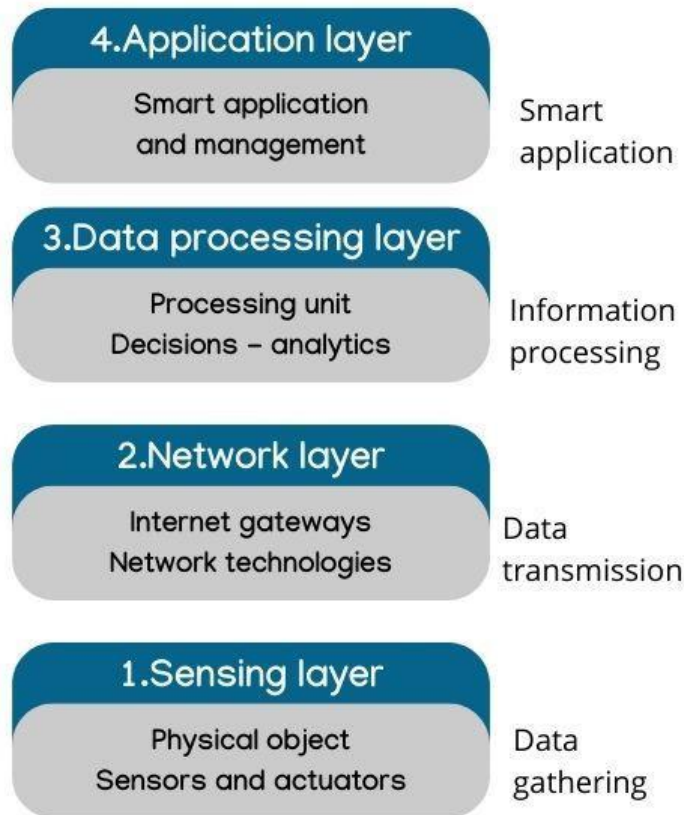
Η διασφάλιση της επικοινωνίας μεταξύ IoT και άλλων συστημάτων επιτυγχάνεται με την χρήση τυποποιημένων πρωτοκόλλων και τεχνολογιών. Η δια-λειτουργικότητα αναφέρεται στην ικανότητα αυτών των συσκευών και συστημάτων να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους ανεξάρτητα από την διαφορετική κατασκευαστική τεχνολογία καθενός.

Θ) Αυτόνομη λειτουργία

Η ικανότητα των συστημάτων IoT να λειτουργούν ανεξάρτητα και λαμβάνουν αποφάσεις επιτρέποντας ευρύ φάσμα εφαρμογών και υπηρεσιών χωρίς τον ανθρώπινο παράγοντα.

1.3 Αρχιτεκτονική

Ένα IoT δίκτυο μπορεί να αποτελείται από πολλά επίπεδα ανάλογα το σκοπό τις εφαρμογής. Τα κύρια επίπεδα είναι οι αισθητήρες, το επίπεδο δικτύου, το επίπεδο επεξεργασίας και το επίπεδο εφαρμογής χρήστη



Εικόνα 3 Αρχιτεκτονική IoT

Το επίπεδο των αισθητήρων ουσιαστικά είναι το επίπεδο το οποίο γίνεται η συλλογή δεδομένων και αποτελείται από τους κόμβους – αντικείμενα τα οποία είναι συσκευές με ενσωματωμένα συστήματα όπως μικροελεγκτές και συνδεδεμένους αισθητήρες που καταγράφουν διάφορους παραμέτρους όπως θερμοκρασία και υγρασία. Οι μικροελεγκτές δέχονται τις πληροφορίες από τους αισθητήρες και τις περνάνε από μια προ επεξεργασία πριν της στις στείλουν στο δίκτυο στο οποίο είναι συνδεδεμένοι.

Το επίπεδο δικτύου είναι αρμόδιο για την επικοινωνία των κόμβων μεταξύ τους η μέσω ενός gateway να στέλνουν τα δεδομένα στο κεντρικό δίκτυο. Για την επίτευξη αυτού του στόχου στο επίπεδο δικτύου γίνεται χρήση πρωτοκόλλων και τεχνολογιών επικοινωνίας που δίνουν την δυνατότητα στις συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους αλλά και με το gateway. Μερικές τεχνολογίες είναι το WiFi, Bluetooth και LoraWAN.

Στο επίπεδο επεξεργασίας γίνεται η συλλογή όλων των δεδομένων από όλα τα αντικείμενα του δικτύου όπου επεξεργάζονται και αναλύονται. Σε αυτό το επίπεδο χρησιμοποιούνται διάφορα εργαλεία με στόχο την σωστή διαχείριση το δεδομένων ώστε να οδηγήσουν σε χρήσιμα αποτελέσματα για περαιτέρω χρήση. Χρήσιμα εργαλεία μπορεί να είναι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης και αλγόριθμοι ανάλυσης.

Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των δεδομένων που έχουν προκύψει από το επίπεδο αισθητήρων και το επίπεδο επεξεργασίας συγκεντρώνονται στο τελευταίο επίπεδο ,το επίπεδο εφαρμογής που έχει στόχο να τα παρουσιάσει στον τελικό χρήστη μέσω ενός φιλικού περιβάλλοντος. Στο επίπεδο αυτό χρησιμοποιούνται εφαρμογές οι οποίες αλληλοεπιδρούν με το ΙοΤ σύστημα αλλά δίνουν την δυνατότητα στον χρήστη να αναλύει περισσότερο τα δεδομένα ώστε να εξάγει τις πληροφορίες που θέλει. Για παράδειγμα σε ένα έξυπνο σπίτι ο κεντρικός πίνακας ελέγχου των έξυπνων συσκευών είναι το επίπεδο εφαρμογής στο οποίο ο χρήστης ελέγχει τις συσκευές του, βλέπει διαγράμματα των μετρήσεων και παρακολουθεί κάθε συσκευή του σε τι κατάσταση βρίσκεται.

1.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Η τεχνολογία ΙοΤ όπως κάθε τεχνολογία που υπάρχει και αλληλοεπιδρά στην καθημερινότητά μας έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα

- Η χρήση των ΙοΤ συστημάτων μας εξοικονομεί χρόνο στην καθημερινότητά μας καθώς πολλές διαδικασίες γίνονται αυτόματα με αποτέλεσμα την μείωση ανάγκης του ανθρώπινου παράγοντα
- Υπάρχει δυνατότητα καταγραφής και παρακολούθησης όλων των δεδομένων – παραμέτρων.
- Γρήγορη και απομακρυσμένη επέμβαση στο σύστημα.
- Συμβάλουν στη μείωση κόστους καθώς δεν υπάρχει ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό αλλά και επειδή με τον αυτόματο έλεγχο γίνεται εξοικονόμηση ενέργειας.
- Εκσυγχρονισμός του μέρους το οποίο βρίσκει εφαρμογή ένα ΙοΤ σύστημα.

Μειονεκτήματα

- Αυξάνεται η πολυπλοκότητα καθώς υπάρχει ανάγκη για χρήση διαφόρων προϊόντων ΙοΤ, πλατφόρμων και πρωτοκόλλων.
- Υψηλά αρχικά έξοδα για το στήσιμο μιας ΙοΤ δομής.
- Κίνδυνος μη σταθερότητας του δικτύου
- Κίνδυνος για κυβερνοεπιθέσεις στο δίκτυο.
- Τα προσωπικά δεδομένα σε ένα ΙοΤ είναι ευάλωτα καθώς κάποιος μπορεί να επιτεθεί στο δίκτυο αν δεν υπάρχουν σωστά μέτρα ασφαλείας.

1.5 Εφαρμογές IoT

Το IoT έχοντας ως κύρια χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα την δυνατότητα λειτουργίας χωρίς την αναγκαία παρουσία του ανθρώπου ,την ποικιλία επιλογής αισθητήρων και την ευρύτητα στην χρήση δικτύων επικοινωνίας βρίσκει πεδίο εφαρμογής σε πολλούς τομείς.

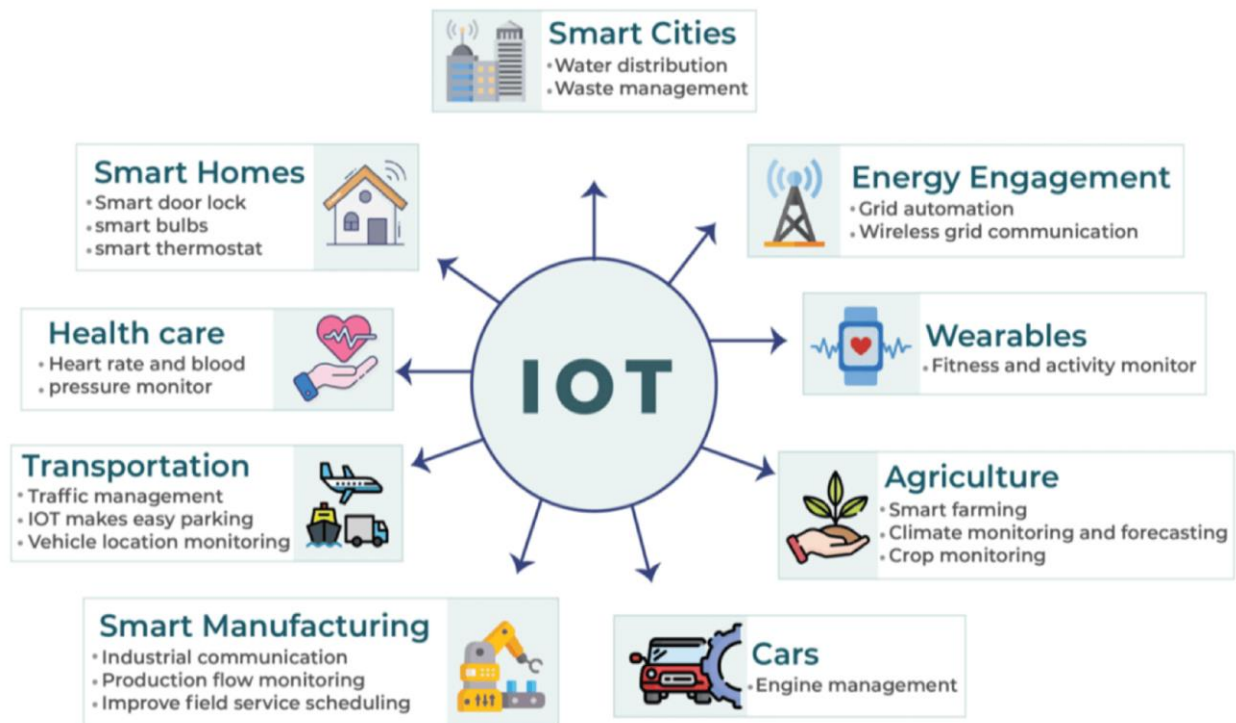
Αυτές οι δυνατότητες εφαρμογών πολλαπλασιάζονται με τις παρακάτω ιδιότητες.

Οι πληροφορίες που ανταλλάσσονται μεταξύ των συσκευών δημιουργούν τεράστιο όγκο δεδομένων που αναλύονται με σκοπό την λήψη αποφάσεων.

Η αυτοματοποίηση πλήθους μη αυτομάτων εργασιών, απλών η συνθέτων, μειώνει το κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

Η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο εξασφαλίζει οπτική πρόσβαση σε υλικά εξοπλισμού υψηλής αξίας, την παρακολούθηση της αλυσίδας παραγωγής ,την άμεση αντιμετώπιση αλλαγών και μακροχρόνιων διακοπών λειτουργίας εξοικονομώντας κεφάλαια.

Η παρουσία του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι πλέον γεγονός της καθημερινότητας μας χάρη στην υιοθέτηση από ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών. Η ενέργεια του IoT αποτελεί μονόδρομο επιλογής για επιχειρήσεις ,οργανισμούς και κρατικούς κλάδους. Παρακάτω παραθέτουμε ορισμένες εφαρμογές από τους τομείς που αναφέραμε.[10],[13],



Εικόνα 4 Εφαρμογές του διαδικτύου των αντικειμένων

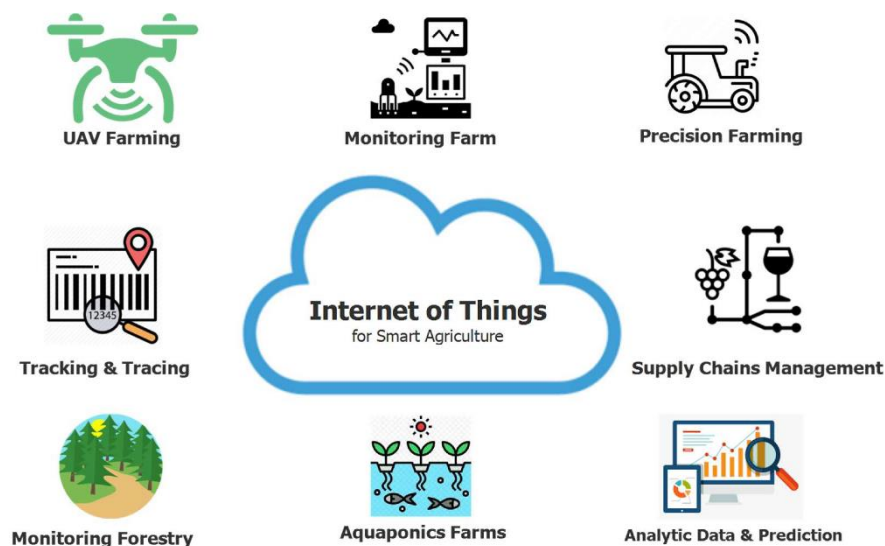
1.5.1 IoT στην Αγροτική βιομηχανία

Η γεωργία, ως βιομηχανία, επωφελείται μαζικά από το Διαδίκτυο των Πραγμάτων ενώ λόγω της αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού οι κυβερνήσεις δίνουν προτεραιότητα στην κλιμάκωση των γεωργικών συστημάτων. Αυτό, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, κάνει τους αγρότες να συνδέσουν την τεχνολογία με την καλλιέργεια.

Η χρήση των πληροφοριών που συλλέγονται με την πάροδο του χρόνου αποτελεί πρακτική της προκαταρκτικής γεωργίας καθότι τα δεδομένα που παρέχονται επιτρέπουν στους αγρότες να αποφασίσουν για τις κατάλληλες παραμέτρους ανάπτυξης και χρήσεις λιπασμάτων.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται αισθητήρες για την παροχή πληροφοριών της χημείας του εδάφους και των χαρακτηριστικών των λιπασμάτων. Τα επίπεδα CO₂, η υγρασία, η θερμοκρασία, το μέτρο οξύτητας και η παρουσία κατάλληλων θρεπτικών συστατικών συμβάλλουν στο πόσο καλή είναι μια συγκομιδή.

Η έξυπνη άρδευση είναι μια εφαρμογή IoT για τη ρύθμιση και την αποτελεσματική χρήση του νερού για τη γεωργία. Το σύστημα εκκινεί τη ροή του νερού μόνο όταν το έδαφος φτάσει σε ένα ορισμένο επίπεδο ξηρότητας και σταματά την παροχή μόλις επιτευχθεί το επιθυμητό επίπεδο υγρασίας.



Εικόνα 5 Εφαρμογές IoT στην γεωργία.

Ένα έξυπνο θερμοκήπιο χρησιμοποιεί το μικροκλίμα για να αυξήσει τις καλλιέργειες αντί να βασίζεται στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών. Οι αισθητήρες παρακολουθούν και ελέγχουν όλες τις παραμέτρους και διαθέτουν αυτοματοποιημένα συστήματα φωτός και νερού.

Αυτό μπορεί να γίνει συλλέγοντας πρώτα δεδομένα για μία γεωργική έκταση όπως η ποιότητα του εδάφους, τα επίπεδα ηλιακού φωτός, ο τύπος σπόρων και η πυκνότητα βροχοπτώσεων από

διάφορες πηγές όπως αισθητήρες αγροκτημάτων, δορυφόροι, τοπικοί μετεωρολογικοί σταθμοί κ.λπ. και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα για τη δημιουργία προσαρμοσμένων συστάσεων για κάθε αγρόκτημα που θα βελτιστοποιούν τη διαδικασία φύτευσης.

Η παρακολούθηση του ζωικού κεφαλαίου χρησιμοποιεί την χρήση τσιπ RFID για την παρακολούθηση των ζωτικών στοιχείων, των λεπτομερειών εμβολιασμού και της ακριβούς θέσης ενός ζώου.

1.5.2 IoT εφαρμογές στον αστικό ιστό.

Οι σύγχρονες αστικές πόλεις έχουν κατακτήσει πλέον τον χαρακτηρισμό "έξυπνες". Λειτουργούν με την χρήση αισθητήρων και κυψελωτών ή ασύρματων τεχνολογιών σε πολυάριθμες καθημερινές δραστηριότητες των κατοίκων της, των Δημοσίων Υπηρεσιών, των επιχειρήσεων. Καθοριστικές παρεμβάσεις έχουν γίνει στα συστήματα διαχείρισης της κυκλοφορίας στις μεγαλουπόλεις όπου αισθητήρες σε κόμβους, έξυπνοι σηματοδότες και σήματα κυκλοφορίας στέλνουν δεδομένα σε συστήματα IoT, επιτρέποντας στους χειριστές να αναλύουν και να αξιολογούν κυκλοφοριακές συνθήκες, μεταβολές και έκτακτες περιπτώσεις της πόλης κατά τις ώρες αιχμής ή ήπιας κυκλοφορίας δημιουργώντας λύσεις για πολλαπλά σημεία στο δίκτυο.

Πέραν από τις Αρχές ανάλογες χρηστικές πληροφορίες παρέχονται στους πολίτες είτε είναι οδηγοί ή χρήστες των Μέσων Συγκοινωνίας ώστε να χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να εντοπίζουν περιοχές που είναι συμφορημένες ή προβληματικές και να χρησιμοποιούν εναλλακτικές διαδρομές.

Αντίστοιχες εφαρμογές χρησιμοποιούνται για την διευθέτηση των προβλημάτων στάθμευσης που παίζουν μεγάλο ρόλο στη διαχείριση της κυκλοφορίας, δίνοντας στους οδηγούς πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τους διαθέσιμους κενούς χώρους.

Ο πολίτης ατομικά χρησιμοποιεί συσκευές IoT που κάνουν τη ζωή ευκολότερη. Οι φορητές μικροσυσκευές - αξεσουάρ όπως Fitbit, smartphone, ρολόγια Apple, οθόνες υγείας, βελτιώνουν την ψυχαγωγία, τη συνδεσιμότητα δικτύου, την υγεία και τη φυσική κατάσταση.

Τα έξυπνα σπίτια φροντίζουν για θέματα όπως η ενεργοποίηση περιβαλλοντικών προσαρμογών, έτσι ώστε το σπίτι να προσαρμόζεται στις επιθυμητές συνθήκες. Η προσωπική και οικιακή ασφάλεια είναι προσιτή σε κάθε καταναλωτή με δυνατότητες ελέγχου των συσκευών του φωτισμού από απόσταση, τηλεχειρισμού των κλειδαριών και των δικτύων οπτικής παρακολούθησης και καταγραφής.



Εικόνα 6 Εφαρμογές στον αστικό ιστό

1.5.3 Δημιουργία καλύτερων επιχειρηματικών λύσεων

Οι μεγάλες επιχειρήσεις και οι αντίστοιχοι όμιλοι διαθέτουν ανθρώπινο δυναμικό πληροφορικών ειδικοτήτων για τη δημιουργία, τη συντήρηση, την ασφάλεια και την παρακολούθηση της τεχνολογικής τους υποδομής.

Μια λύση ασφαλείας που υποστηρίζεται από το IoT χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να παρέχει μετρίασμό και αποτροπή επιθέσεων στον κυβερνοχώρο. Μπορεί ακόμη και να προετοιμάσει σενάρια περιστατικών, απαντήσεις και πολιτικές ασφαλείας με βάση τη δραστηριότητα του δικτύου.

Άλλη εφαρμογή του Διαδικτύου των Πραγμάτων είναι η λήψη αποφάσεων με βάση τα δεδομένα που προκύπτουν από αναλύσεις των πελατών. Οι πληροφορίες συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο, αξιολογούνται και συνδυάζονται άμεσα προσφέροντας δυνατότητες που δημιουργούν πλέον ιστορικές μεταβολές στην εκμετάλλευση των εξελίξεων της αγοράς.

Η εταιρική υποδομή είναι πλέον πιο περίπλοκη από ποτέ. Διάφορες συσκευές επικοινωνούν μεταξύ τους για να κάνουν το σύστημα να λειτουργήσει.

Εφαρμογές IoT παρεμβαίνουν στις διαδικασίες παραγωγής εντοπίζουν τα σημεία συμφόρησης περιορίζοντας τη σπατάλη και τον χαμένο χρόνο.

Διαχειρίζονται και ρυθμίζουν τη φυσική πρόσβαση σε εγκαταστάσεις με σήματα ID υπαλλήλου ή φορητές συσκευές με τσιπ RFID.

Προσφέρουν πρόγνωση στο σχεδιασμό συντήρησης με αισθητήρες IoT που επιτρέπουν στους χειριστές να παρακολουθούν την φθορά λόγω λειτουργίας προκειμένου να εκτελούν περιοδική συντήρηση.

Οι πρακτικές αυτές επεκτείνουν τη φυσική ζωή των μηχανών και διασφαλίζουν την επιχειρησιακή διαθεσιμότητα και αξιοπιστία και κατ' επέκταση τη μείωση κόστους αναπλήρωσης των υποδομών.

1.5.4 Τομέας Υγείας

Στον τομέα της Δημόσιας Υγείας, οι φορητές συσκευές IoT επιτρέπουν στα νοσοκομεία να παρακολουθούν την υγεία των ασθενών τους στο σπίτι, ελαχιστοποιώντας τον χρόνο παραμονής των στο νοσοκομείο, παρέχοντας ταυτόχρονα πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο που οδηγούν σε άμεσες ιατρικές παρεμβάσεις. Η συνεχής ανωμαλία των παραμέτρων ειδοποιεί άμεσα τον γιατρό, δημιουργώντας προληπτική δράση. Οι γιατροί μπορούν να το χρησιμοποιήσουν για να παρακολουθούν ασθενείς σε κίνδυνο, όπως οι ηλικιωμένοι και όσοι πάσχουν από χρόνιες ασθένειες των οποίων η φροντίδα γίνεται σημαντικά πιο άνετη και αποτελεσματική.

Εκτός από την παρακολούθηση, το Διαδίκτυο των πραγμάτων βελτιώνει την τήρηση των ιατρικών αρχείων και την πρόσβαση των ασθενών, καθιστώντας διαθέσιμα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σε όλα τα τμήματα.

Η ιατρική έρευνα βελτιώνεται ουσιαστικά καθότι, ενώ μέχρι σήμερα βασιζόταν πάντα σε δεδομένα που δημιουργούνται σε ελεγχόμενο περιβάλλον ή δεδομένα που δημιουργούνται εκ των υστέρων, τώρα τέτοια δεδομένα συγκεντρώνονται σε πραγματικό χρόνο και σε μεγάλες ποσότητες.

Η διαδικασία παραγωγής των φαρμακευτικών σκευασμάτων βελτιστοποιείται με άμεσο αποτέλεσμα αυτού χαμηλότερες τιμές των φαρμάκων αλλά και ευρεία προσβασιμότητα με την έξυπνη διαχείριση αποθεμάτων.

1.5.5 Διαχείριση Νερών και Απορριμμάτων

Καθόλη τη διαδικασία παροχής και διαχείρισης του νερού σε αστικές δομές ανεξάρτητα από το μέγεθος τους, σίγουρα όμως με μεγαλύτερη σημασία για τις μεγαλουπόλεις, ενσωματώνονται σε μετρητές νερού αισθητήρες που με ανάλογο λογισμικό μέσω Διαδικτύου συγκεντρώνουν, επεξεργάζονται και αναλύουν δεδομένα των χρήσεων κατανάλωσης, της διακίνησης, της συνολικής και επι μέρους λειτουργείας, της οικονομίας διανομής αλλά και της προβλεπόμενης ανακύκλωσης, τον εντοπισμό σφαλμάτων και την αναφορά αποτελεσμάτων.

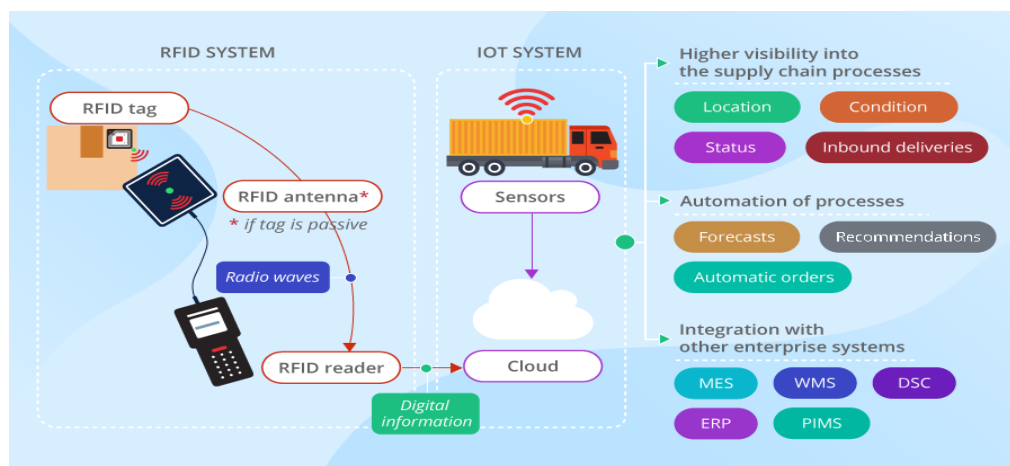
Παράλληλα, προσφέρουν στους τελικούς χρήστες την δυνατότητα να παρακολουθούν τις πληροφορίες κατανάλωσής τους μέσω εφαρμογών σε άμεσο χρόνο. Οι αυτόματες ειδοποιήσεις που προκαλούνται ενημερώνουν τους επαγγελματικούς ή οικιακούς χρήστες για πιθανές καταναλώσεις εκτός του μέσου εύρους, υποδεικνύοντας την παρουσία διαρροών και άλλων είδους βλαβών.

Τελικά όλες αυτές οι επεμβάσεις συμβάλλουν καθοριστικά στην εξοικονόμηση νερού από μείωση σπατάλης λόγω άσκοπης χρήσης ή βλαβών , από μη στοχευμένη διαχείριση των υδάτινων πόρων και από λανθασμένη εκτίμηση των μελλοντικών περιβαλλοντολογικών μεταβολών.

Άλλη σημαντική υποχρέωση των υπηρεσιών λειτουργίας των πόλεων είναι η διαχείριση των παραγομένων όγκων απορριμμάτων. Τα έξυπνα συστήματα επεξεργασίας εξασφαλίζουν την πρόβλεψη των παραγομένων ποσοτήτων σε μια συγκεκριμένη περιοχή, ώστε να σχεδιάζουν ασφαλώς την συλλογή, μεταφορά, επεξεργασία, ανακύκλωση και τελική απόθεση.

1.5.6 Η εφοδιαστική αλυσίδα

Η εφοδιαστική αλυσίδα είναι μια διαδικασία που εξασφαλίζει την προμήθεια υπηρεσιών και αγαθών από τα σημεία παραγωγής στο καταναλωτικό κοινό. Περιλαμβάνει αποθήκευση , μεταφορά και διανομή αποθεμάτων, διαχείριση στόλου, σχέσεις με προμηθευτές και προγραμματισμένη συντήρηση. Η αλυσίδα εφοδιασμού αποτελείται από πολλά επίπεδα πολυπλοκότητας και η αποτελεσματική διαχείρισή τους συχνά απαιτεί τη χρήση εργαλείων και τεχνολογιών. Οι διαχειριστές χρησιμοποιώντας εφαρμογές IoT έχουν αναθεωρήσει τις διαδικασίες στη μεταφορά και την παράδοση αγαθών, επιτρέποντας την παρακολούθηση, τη δρομολόγηση και την ασφάλεια σε πραγματικό χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι οι επιχειρήσεις αλλά και το κοινό ως τελικός αποδέκτης μπορούν να έχουν εμπιστοσύνη στην ανθεκτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Οι έξυπνες ετικέτες μπορούν να προσδιορίσουν τη θέση, και την κατάσταση των δεμάτων και των εμπορευματοκιβωτίων και να στείλουν δεδομένα μέσω των εφαρμογών IoT σε αποστολείς ή παραλήπτες. Στον τομέα της μεταφοράς , το IoT στη διαχείριση στόλου παρέχει σύνδεση από άκρο σε άκρο μεταξύ των οχημάτων , των διαχειριστών, των οδηγών και μεταξύ αυτών. Η διαχείριση των στόλων σε πραγματικό χρόνο και εξ αποστάσεως αντιμετωπίζει οποιαδήποτε καθυστέρηση ή προβλήματα ειδοποιώντας αυτόματα το κατάλληλο προσωπικό. Η εγκατάσταση αισθητήρων παρέχει γεωεντοπισμό, ανάλυση απόδοσης, εξοικονόμηση καυσίμων, έλεγχο τηλεμετρίας, μείωση της ρύπανσης ,πληροφορίες για την οδήγηση των οχημάτων.



Εικόνα 7 IoT στην εφοδιαστική αλυσίδα

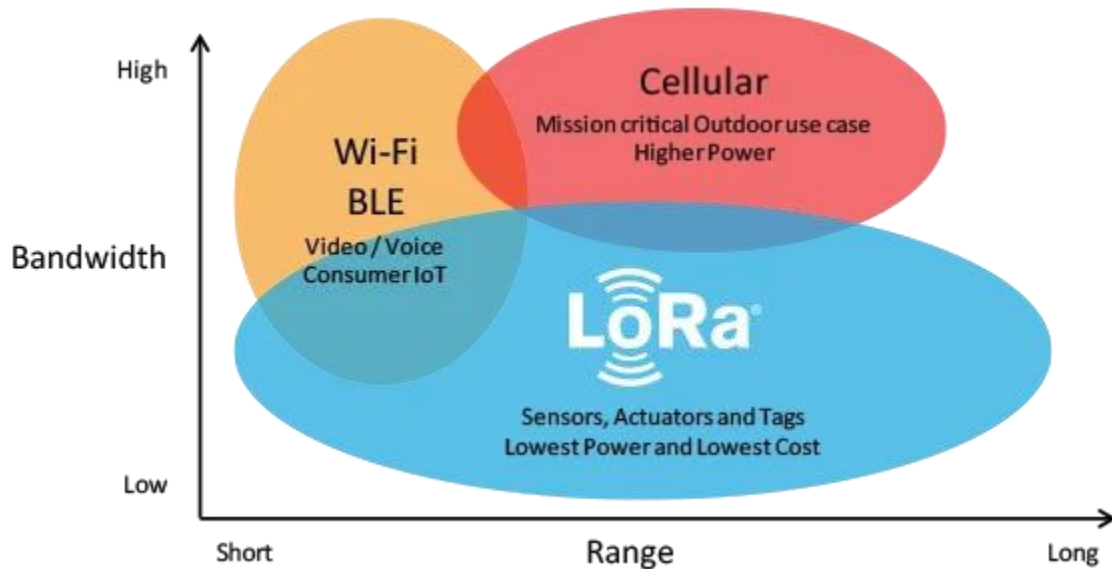
2. Δίκτυα LPWAN και LoRa.

2.1 LPWAN (Low-power wide-area network).

Το LpWan είναι ασύρματο δίκτυο επικοινωνίας ευρείας περιοχής και μεγάλων αποστάσεων με χαμηλή κατανάλωση ισχύος και με χαμηλό ρυθμό μετάδοσης. Έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιούν επικοινωνίες μεταξύ πράγματος (things) σε απομακρυσμένες περιοχές που αδυνατούν να τροφοδοτηθούν με ρεύμα ή να αντικατασταθούν οι μπαταρίες τους. Η ανάπτυξη των Lpwan ως προς την πολυπλοκότητα και το κόστος μπορεί να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα καθώς σχεδιάζονται απλοποιημένες συσκευές με χρήση μπαταριών long life. Καλύπτοντας ανάγκες μαζικών εφαρμογών ευρείας γεωγραφικής κάλυψης αλλά και σημείων δύσκολης προσβασιμότητας. Συνήθως οι εφαρμογές που εξυπηρετούν μπορεί να καλύπτουν αποστάσεις μέχρι και 100 χιλιόμετρα με τον ανάλογο τεχνολογικό εξοπλισμό πομπούς αποστολής μηνυμάτων, χαμηλών data rates με ανάλογες κεραίες μετάδοσης.

Τα δίκτυα αυτά επειδή ακριβώς διαθέτουν ιδιότητες χαμηλής ισχύος δύναται να επεκταθούν μέσω gateways πυλών και Access Stations. Η λειτουργία του στηρίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης εξάπλωσης φάσματος (Spread Spectrum) που προέρχεται από την τεχνολογία διασποράς φάσματος.[4],[38]

Υπάρχουν πολλά LPWAN τα οποία έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως η απόσταση μετάδοσης που καλύπτουν, οι συχνότητες που χρησιμοποιούν και η ταχύτητα μετάδοσης. Μερικά τέτοια δίκτυα είναι το LORAWAN, το Sigfox και το NB-IoT



Εικόνα 8 Διάγραμμα κάλυψης δικτύων

2.2 LoRa

Το LoRa (Long Range) είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας το οποίο δημιουργήθηκε με στόχο την επικοινωνία συσκευών IoT οι οποίες βρίσκονται αρκετά μακριά ή μια από την άλλη με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας καθώς ως επί το πλείστον οι IoT συσκευές λειτουργούν με μπαταρία. Βασίζεται σε τεχνικές μετάδοσης spread spectrum που επιτρέπουν τη μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμη και μέσα από εμπόδια όπως κτίρια ή δέντρα.

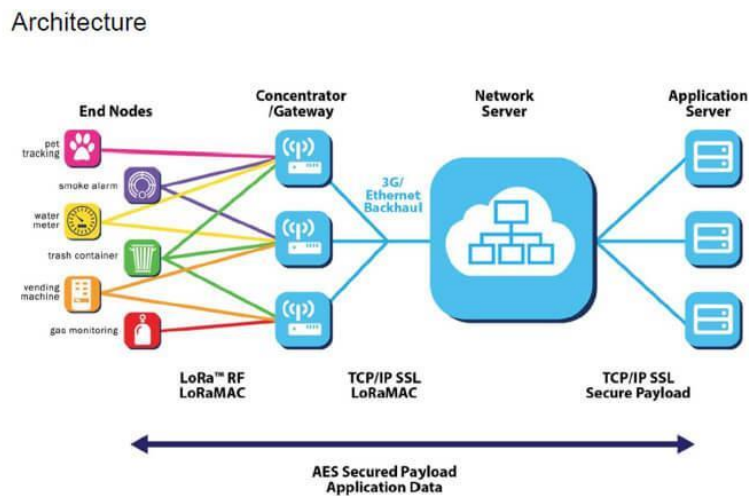
Το LoRa λειτουργεί στις ζώνες συχνοτήτων ISM (Industrial, Scientific, and Medical). Η μεγάλη εμβέλεια μετάδοσης που προσφέρει το LoRa (δεκάδες χιλιόμετρα) το καθιστά ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν επικοινωνία σε μεγάλη απόσταση όπως αγροτικές εφαρμογές, έξυπνες πόλεις, παρακολούθηση περιβάλλοντος και ατμοσφαιρικών συνθηκών και άλλες εφαρμογές IoT.

Το πρωτόκολλο LoRa είναι αρκετά παραμετροποιήσιμο ώστε να προσαρμοστεί από τον χρήστη ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Μερικές παράμετροι είναι η εμβέλεια η ταχύτητα μετάδοσης και η κατανάλωση ενέργειας. Το LoRa είναι αρκετά διαδεδομένο στο IoT κόσμο και υπάρχουν πολλές υπηρεσίες για την εύκολη ενσωμάτωση του LoRa στις εφαρμογές μας.[34]

2.3 LoRa WAN

Το LoRaWAN είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής βασισμένο στο LoRa το οποίο έχει κύριο στόχο την σύνδεση έξυπνων κόμβων στο διαδίκτυο καθώς είναι κατάλληλο για IoT εφαρμογές λόγω μικρής κατανάλωσης ισχύος και μεγάλης απόστασης μετάδοσης. Απαρτίζεται από τους τελικούς κόμβους, τα gateways, τον σέρβερ δικτύου και τον σέρβερ εφαρμογής. Προσφέρει ασφαλή επικοινωνία μεταξύ των συσκευών και των σέρβερ καθώς χρησιμοποιεί κρυπτογράφηση τύπου AES-128.

Το LoRaWAN είναι δωρεάν και χρειάζεται όπως αναφέραμε ελάχιστες υποδομές το οποίο το καθιστά ένα οικονομικό στην κατασκευή δίκτυο.[35],[36].



Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική εφαρμογής με δίκτυο LoRaWAN

2.4 Gateways και Συχνότητες λειτουργίας

Κομβικό σημείο ενός LoRa WAN δικτύου είναι η πύλες διασύνδεσης (Gateways). Τα gateways είναι συσκευές οι οποίες επιτρέπουν την σύνδεση και την επικοινωνία όλων των IoT κόμβων του δικτύου με την πλατφόρμα cloud του δικτύου μας. Αναπόσπαστο εξάρτημά του gateway για την αποστολή και λήψη δεδομένων είναι η κεραία.

Οι κόμβοι συνδέονται στο gateway και το gateway στο cloud του δικτύου μέσω Wifi, Ethernet, Cellular ώστε στην συνέχεια τα δεδομένα να μπορούν να προωθηθούν σε εφαρμογές μέσα στο cloud για περαιτέρω επεξεργασία και στο τέλος να δοθούν τα δεδομένα οπτικοποιημένα στο τελικό χρήστη.

Τα LoRa WAN gateways κατηγοριοποιούνται σε gateways εσωτερικού χώρου και εξωτερικού χώρου καθώς αλλάζει η δυνατότητα και το εύρος κάλυψης. Συνήθως του εσωτερικού χώρου έχουν ενσωματωμένη κεραία καθώς καλούνται να επικοινωνήσουν με συσκευές σε μικρή απόσταση, ενώ τα gateways εξωτερικού χώρου έχουν μεγαλύτερη κάλυψη και συνήθως τοποθετούνται με εξωτερική κεραία κατάλληλη για το μέρος που θα τοποθετηθεί αλλά και την επιθυμητή χιλιομετρική κάλυψη.

Η επικοινωνία στο Lora γίνεται με την χρήση ραδιοσυχνοτήτων. Για αυτό τον λόγο έχουν οριστεί συγκεκριμένες συχνότητες επικοινωνίας στις οποίες οι κόμβοι και τα gateways μπορούν να εκπέμπουν. Η συχνότητα εκπομπής αλλάζει ανάλογα την χώρα. Οι διαθέσιμες ραδιοσυχνότητες για το LoRa είναι 434,867,868,915 MHz. Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται η συχνότητα των 868MHz. Για την απρόσκοπτη ,αξιόπιστή αλλά και νόμιμη λειτουργία του συστήματος μας πρέπει να επιλέγεται ο εξοπλισμός ανάλογα την επιτρεπόμενη συχνότητα εκπομπής στην χώρα που βρισκόμαστε.[36]

3. Πλατφόρμες Υπολογιστικού Νέφους.

3.1 Ορισμός

Το υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing) ονομάζεται η παροχή υπολογιστικών πόρων μέσω διαδικτύου. Οι εν λόγω πόροι απαρτίζονται από διακομιστές(servers) ,αποθηκευτικό χώρο, βάσεις δεδομένων και εφαρμογές. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αξιοποιεί τους πόρους αυτούς αποκρουσμένα χωρίς να επιβαρύνεται ο προσωπικός υπολογιστής τους. Μερικές κύριες χρήσεις του Cloud είναι η αποθήκευση δεδομένων , η επεξεργασία δεδομένων και η χρήση εφαρμογών.[14],[21]

3.2 Χρήση σε IoT Εφαρμογές

Η χρήση μιας Cloud πλατφόρμας είναι σημαντικής σημασίας σε μια IoT εφαρμογή καθώς δίνουν την δυνατότητα στις IoT συσκευές να αποστέλλουν τα δεδομένα που συλλέγουν για αποθήκευση και περαιτέρω επεξεργασία στο Cloud. Αξιοποιώντας την τεχνολογία cloud έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα και μικρότερο κόστος σε σχέση με το να κατασκευάζαμε και να συντηρούσαμε τον δικό μας σέρβερ.

Μια πλατφόρμα Cloud έχει την δυνατότητα άμεσης αναβάθμισης και επεκτασιμότητας με μικρό κόστος σε περίπτωση που οι απαιτήσεις της εφαρμογής μας αυξηθούν.

3.3 Κατηγορίες υπολογιστικού νέφους.

3.3.1 Infrastructure as a Service (IaaS)

Είναι η παροχή υπολογιστικών πόρων μέσω διαδικτύου όπως εικονικούς διακομιστές , αποθηκευτικό χώρο και υπηρεσίες δικτύου. Ο χρήστης έχει την ευελιξία να αξιοποιήσει του πόρους όπως εκείνος επιθυμεί

3.3.2 Platform as a Service (PaaS)

Ένα τέτοιου τύπου Cloud προσφέρει σε προγραμματιστές εργαλεία ανάπτυξης εφαρμογών αλλά και την δυνατότητα φιλοξενίας και διάθεσης του λογισμικού τους μετά την ανάπτυξη κατευθείαν από τον πάροχο του cloud.

3.3.3 SaaS (software as a service)

Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να συνδεθεί και να χρησιμοποιήσει εφαρμογές εύκολα μέσω διαδικτύου χωρίς την εγκατάσταση τους στην συσκευή του.

3.3.4 Function as a Service (FaaS)

Αυτός ο τύπος Cloud ονομάζεται και serverless καθώς επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν κώδικα χωρίς να χρειάζεται να έχουν δημιουργήσει την δικιά τους υποδομή.

3.4 Μοντέλα ανάπτυξης υπολογιστικού νέφους

3.4.1 Δημόσιο υπολογιστικό νέφος (Public Cloud)

Οι υποδομές και οι υπηρεσίες διαχειρίζονται και διατίθενται στους χρήστες από έναν τρίτο πάροχο υπηρεσιών.

3.4.2 Ιδιωτικό υπολογιστικό νέφος (Private Cloud)

Οι υποδομές και οι υπηρεσίες ανήκουν σε έναν οργανισμό και πρόσβαση σε αυτές έχουν μόνο τα μέλη του οργανισμού

3.4.3 Υβριδικό υπολογιστικό νέφος (Hybrid Cloud):

Είναι ένα υβριδικό μοντέλο μεταξύ του δημόσιου και του ιδιωτικού υπολογιστικού νέφους. Δίνει την δυνατότητα ο χρήστης να χειρίζεται τα προσωπικά του δεδομένα αλλά να αξιοποιεί τις δυνατότητες και τα δεδομένα ενός δημόσιου νέφους.

Κεφάλαιο 2 Ατμοσφαιρικές Συνθήκες

1. Ατμοσφαιρικοί παράγοντες

Οι κύριοι παράγοντες που διαμορφώνουν την ατμοσφαιρική εικόνα ενός τόπου είναι η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, τα νέφη και οι βροχοπτώσεις, που συνθέτουν την τρέχουσα κατάσταση.

Ενώ η θερμοκρασία και η υγρασία είναι περιφερειακοί και εποχικοί παράγοντες, ο άνεμος και η ακτινοβολία είναι μικροκλιματικοί παράγοντες και επηρεάζονται από το τοπικό περιβάλλον.[27]

1.1 Θερμοκρασία

Ο όρος θερμοκρασία ουσιαστικά είναι ένα μέτρο που ορίζει πόσο κρύος ή ζεστός είναι ο αέρας. Κανονικά μετριέται σε ύψος 2 μέτρων για να ταιριάζει με το ύψος του μέσου ανθρώπου και εφόσον είναι κοντά στο έδαφος μπορεί να διαφέρει σημαντικά καθώς ο ήλιος ζεσταίνει το έδαφος την ημέρα ενώ κρυώνει αντίστοιχα τη νύχτα.

Παράλληλα με την μέτρηση της θερμοκρασίας έχουν δημιουργηθεί και άλλοι παράγοντες οι οποίοι διαμορφώνουν την τελική αίσθηση. Ο δείκτης θερμότητας Heat Index συνδυάζει την θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία σε τόπους που βρίσκονται υπο σκιά για να θέσει μία ισοδύναμη θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος. Ο δείκτης Wind chill συνδυάζει την προβλεπόμενη θερμοκρασία με την προβλεπόμενη ταχύτητα του ανέμου για να υπολογίσει πόσο κρύο θα αισθανθεί ο άνθρωπος καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου ο παράγοντας ψύξης θα αυξηθεί καθιστώντας τον πιο κρύο Συνδυασμός χαμηλών θερμοκρασιών και ανέμου.

Όταν συνδυάζονται χαμηλές θερμοκρασίες και ψηλές ταχύτητες ανέμων είναι δυνατόν να καταστεί πολύ επικίνδυνο για τον άνθρωπο γιατί οι θερμικές απώλειες αυξάνονται κατακόρυφα καθώς μεταφέρονται στον εξωτερικό χώρο τα θερμά αποθέματα του ανθρώπινου οργανισμού. Ο δείκτης που χρησιμοποιείται ευρύτερα για να περιγράψει και να καταμετρήσει αυτή την περίπτωση είναι wind chill temperature ο οποίος στηρίζεται σε μελέτες του ρυθμού απώλειας θερμότητας σε διάφορους συνδυασμούς θερμοκρασιών περιβάλλοντος και ταχύτητας ανέμου. Οι κρίσιμες τιμές του δείκτη αυτού και οι συνέπειες για τον άνθρωπο είναι αντίστοιχες με τα παρακάτω συμπτώματα.

-25C έως - 34C κίνδυνος κρυοπαγήματος σε παρατεταμένη έκθεση στο κρύο

-35C έως - 59C κρυοπαγήματα εντός 10 λεπτών

κάτω των - 60C κρυοπαγήματα εντός δύο λεπτών

Όταν επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες ο ανθρώπινος οργανισμός αναπτύσσει μηχανισμούς αντίδρασης και προσαρμογής. Σημαντικότερος αυτών είναι η εφίδρωση. Σε περίπτωση που

υψηλές θερμοκρασίες συνδυάζονται με αυξημένες τιμές υγρασίας στο περιβάλλον ο μηχανισμός της εφίδρωσης δεν είναι το ίδιο αποτελεσματικός διότι εξατμίζεται λιγότερη εφίδρωση από το δέρμα με αποτέλεσμα εμποδίζεται η απώλεια της επιπλέον θερμότητας.

1.2 Υγρασία

Όπως η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία, οι υδρατμοί διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε πολλές θερμικές και φωτοχημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα. Τα μόρια του νερού μπορούν να συνδεθούν ισχυρά με πολλές ουσίες. Όταν συνδέονται στον αέρα με αιωρούμενα σωματίδια, μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την ποσότητα των φωτεινών ακτινών που διασκορπίζονται από τα σωματίδια αυτά και διαχέονται στον χώρο. Για παράδειγμα τα μόρια του νερού που προσκολλούνται σε διαβρωτικά αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου, το αέριο διαλύεται στο νερό και σχηματίζει διάλυμα οξέος, βλαβερό για την υγεία και το περιβάλλον.

Η σχετική υγρασία είναι ο όρος που περιγράφει την περιεκτικότητα του αέρα σε υδρατμούς και αναφέρεται στο ποσοστό της πίεσης ατμών κορεσμού του νερού σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Η μεταβολή της ποσότητας των υδρατμών στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, το πόσο κοντά βρίσκονται τα υδάτινα σώματα, την κατεύθυνση του ανέμου και τη θερμοκρασία του αέρα.

1.3 Ταχύτητα Ανέμου

Άνεμος είναι η κίνηση του αέρα στον ουρανό. Ο άνεμος προκαλείται από τις διαφορετικές πιέσεις του αέρα, ήτοι από περιοχές υψηλής πίεσης προσπαθεί να μετακινηθεί σε περιοχές χαμηλής πίεσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της πίεσης του αέρα, τόσο πιο γρήγορα ο αέρας κινείται μεταξύ των δύο περιοχών. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου ο παράγοντας ψύξης θα αυξηθεί καθιστώντας τον πιο κρύο επηρεάζοντας σοβαρά την θερμοκρασία του χώρου. Ανάλογα με την ταχύτητα μάζες θερμότητας μετακινούνται μεταβάλλοντας αντίστοιχα την θερμοκρασία που μετράτε αλλά και την αίσθησή της.

1.4 Νέφη και βροχοπτώσεις

Τα σύννεφα είναι ορατές μάζες υδρατμών στην ατμόσφαιρά μας. Σχηματίζονται όταν το νερό εξατμίζεται από περιοχές όπως οι ωκεανοί και οι λίμνες και στη συνέχεια συμπυκνώνονται όταν κρυώσουν ξανά. Τα σύννεφα είναι γεμάτα μικροσκοπικά σταγονίδια νερού και καθώς συγκεντρώνουν περισσότερη υγρασία, αυτά τα σταγονίδια γίνονται όλο και πιο βαριά. Τελικά, οι σταγόνες λόγω βαρύτητας πέφτουν στο έδαφος δίνοντάς μας το φαινόμενο της βροχής. Οι βροχοπτώσεις διαμορφώνουν ανάλογα με τον όγκο, την διάρκεια, την φορά και την ένταση, νέες μικροκλιματικές συνθήκες.

1.5 Ατμοσφαιρική Πίεση.

Ατμοσφαιρική πίεση , ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα με το βάρος της πάνω στην επιφάνεια του πλανήτη. Προκαλείται από τη βαρυτική έλξη της Γης στα ατμοσφαιρικά αέρια και είναι συνάρτηση της μάζας του πλανήτη, της ακτίνας της επιφάνειας , της ποσότητας και της σύνθεσης των αερίων και της κατακόρυφης κατανομής τους στην ατμόσφαιρα.

2. Αντιληπτή θερμοκρασία (Apparent temperature)

Στην συγκεκριμένη διπλωματική θα μελετήσουμε τον δείκτη αντιληπτής θερμοκρασίας ο οποίος έχει άμεση συσχέτιση με τους ατμοσφαιρικούς παράγοντες υγρασία θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα.

2.1 Ορισμός

Ο θερμικός δείκτης (Heat Index) είναι ένας δείκτης που μετρά πως αισθάνεται ο άνθρωπος την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και εξαρτάται από θερμοκρασία περιβάλλοντος (όπως καταγράφεται από τα όργανα),την σχετική υγρασία και την ταχύτητα ανέμου. Εκτός αυτών λαμβάνονται υπόψη και άλλοι παράγοντες όπως η ενδυμασία του ανθρώπου για το σημείο που βρίσκεται. Ο heat index δημιουργήθηκε αρχικά το 1979 από τον Steudman ο οποίος βασίστηκε βιομετεωρολογικές μελέτες συνοψίζοντας τα αποτελέσματα σε ένα πίνακα.(Εικόνα 33). Αργότερα το 1990 ο Rothfusz εφάρμοσε την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης στα αποτελέσματα του πίνακα και κατέληξε στην παρακάτω εξίσωση για τον υπολογισμό του heat index.(4.3.3)

2.2 Σημασία

Οι τιμές της αντιληπτής θερμοκρασίας όταν αυξάνονται επιφέρουν ανάλογες συνέπειες για τον άνθρωπο.

27-31C° Μετά από χθες στον ήλιο είσαι ομαδική δραστηριότητα εμφανίζεται πιθανή κόπωση .

32-40C° Μετά από παραταγμένη έκθεση στον ήλιο και σωματική δραστηριότητα πιθανή ηλίαση θερμικές κράμπες εξάντληση.

41-54C° Μεγαλύτερες πιθανότητες εμφάνισης των παραπάνω συμπτωμάτων καθώς και πιθανή θερμοπληξία.

>54C° Σοβαρός κίνδυνος ηλίασης ή θερμοπληξίας.

2.3 Τρόποι πρόβλεψης.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι πού θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας. Πιο απλός τρόπος είναι με τη χρήση του εμπειρικού μαθηματικού τύπου τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε και εμείς στην εργασία και αναφέρουμε στο κεφάλαιο(7.6).

Μαθηματικός τύπος:

$$HI = -42,379 + 2,04901523 \cdot T + 10,14333127 \cdot RH - 0,22475541 \cdot T \cdot RH - 0,00683783 \cdot T^2 - 0,05481717 \cdot RH^2 + 0,00122874 \cdot T^2 \cdot RH + 0,00085282 \cdot T \cdot RH^2 - 0,00000199 \cdot T^2 \cdot RH^2$$

όπου T η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°F) και RH η σχετική υγρασία (%).

Εικόνα 10 Τύπος Heat Index (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου - προγνώστη Ζιακόπουλος Σελ.60)

Πρόβλεψη θα μπορούσε να γίνει με αλγόριθμος μηχανικής μάθησης με βασικό τον αλγόριθμο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης τον οποίο χρησιμοποιούμε για την πρόβλεψη στο cloud στην διπλωματική και τον οποίο έχουν χρησιμοποιήσει και σε άλλες εργασίες και μελέτες.[1], [2], [6],[8],[12]

Μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης όπως Random Forest ο οποίος χρησιμοποιείται σε πρόβλεψη με μεγάλα σύνολα δεδομένων. Επιπλέον η πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας θα μπορούσε να γίνει με την χρήση νευρωνικών δικτύων όπως το Feed-Forward Neural Network ακόμα και ο συνδυασμός νευρωνικών δικτύων και της γραμμικής παλινδρόμησης.[5] Έτσι ο αλγόριθμος να μαθαίνει την δομή των δεδομένων και να αναλύει τα παλαιότερα δεδομένα και μόνο του το δίκτυο να εκπαιδεύεται με τυχαίες μεταβλητές μέχρι να φτάσει σε ένα πολύ μικρό ποσοστό σφάλματος. Επιπλέον ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να διαχειριστεί καλύτερα μεγάλες ποσότητες δεδομένων και η απόδοση του συνεχώς βελτιώνεται

2.4 Μοντέλα και μηχανισμοί πρόβλεψης της αισθητής θερμοκρασίας που επιλέχθηκαν.

Η πρόβλεψη της θερμοκρασίας αίσθησης στην διπλωματική θα γίνει σε πρώτο στάδιο τοπικά στον μικροελεγκτή με την χρήση του μαθηματικού τύπου[24]. Επιλέχθηκε αυτός ο τρόπος καθώς είναι μια απλή και αποτελεσματική μέθοδος για την συγκεκριμένη η οποία έχει χρησιμοποιηθεί και σε άλλες εργασίες και μελέτες. Επίσης είναι εύκολη στην υλοποίηση on edge και είναι ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης ο οποίος λειτουργεί χωρίς σημαντικούς περιορισμούς στο Thingspeak. Στην συνέχεια τα δεδομένα για τα οποία έγινε η πρόβλεψη αλλά και η προβλεπόμενη θερμοκρασία στέλνονται στην πλατφόρμα ThingSpeak όπου εκεί επεξεργάζονται από ένα εκπαιδευμένο αλγόριθμο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.[11],[18],[39][45]. Τα δεδομένα για τα οποία γίνεται η πρόβλεψη είναι θερμοκρασία, υγρασία και ταχύτητα αέρα.

2.4.1 Περιγραφή αλγορίθμου πρόβλεψης στο Thingspeak

Στην διπλωματική αυτή θα μελετηθεί η πρόβλεψη της θερμοκρασίας αίσθησης με τον αλγόριθμο Πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση (Multiple Linear Regression). Πολλαπλή γραμμική

παλινδρόμηση είναι ένας τρόπος μοντελοποίησης μιας εξαρτημένης μεταβλητής με βάση δύο ή περισσότερων ανεξάρτητων μεταβλητών. Σκοπός του αλγορίθμου εκτός από την πρόβλεψη είναι και ο προσδιορισμός και η κατανόηση του αντίκτυπου κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στο τελικό αποτέλεσμα.

2.4.2 Περιγραφή αλγορίθμου στο Edge

Ο αλγόριθμος στον μικροελεγκτή βασίζεται σε έναν μαθηματικό τύπο ο οποίος υπολογίζει την αισθητή θερμοκρασία βάσει της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

2.4.3 Σύγκριση αλγορίθμων

Τα αποτελέσματα των αλγορίθμων θα συγκριθούν με βάση τον πίνακα Heat Index.

Κεφάλαιο 3 Σχεδιασμός και υλοποίηση συστήματος πρόβλεψης αντιληπτής θερμοκρασίας με LoRa.

Δομή εφαρμογής

Στην συγκεκριμένη εργασία θα κατασκευαστεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα μέτρησης των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της πρόβλεψης της αντιληπτής θερμοκρασίας (Apparent Temperature). Το συγκεκριμένο σύστημα αποτελείται από ένα IoT κόμβο ο οποίος είναι βασισμένος σε μια πλακέτα μικροελεγκτή το Rycom FiPy. Ο κόμβος με την χρήση της επιπρόσθετης πλακέτας PySense συλλέγει δεδομένα και τα αποστέλλει μέσω του δικτύου LoraWan σε μια πύλη διασύνδεσης (gateway). Η πύλη μεταφέρει τα δεδομένα στην νεφουπολογιστική πλατφόρμα The Things Network η οποία συνδέεται με την πλατφόρμα Thingspeak όπου τα δεδομένα παρουσιάζονται σε γραφικό περιβάλλον, αποθηκεύονται αλλά και επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας αλγορίθμους στο MatLab

1. Σχεδιασμός

1.1 Gateway

Η πύλη διασύνδεσης χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με το διαδίκτυο. Ο μικροελεγκτής επικοινωνεί με το gateway με την χρήση του LoRaWAN.

Η πύλη που χρησιμοποιούμε είναι το Lorix-One. Η συγκεκριμένη λόγω του κομψού και συμπακνωμένου σχεδιασμού της όπως και της αδιαβροχοποίησης IP65 που διαθέτει την καθιστά μια πύλη διασύνδεσης η οποία μπορεί να τοποθετηθεί σχεδόν παντού και σε εξωτερικό και εσωτερικό χώρο. Έχει μικρό βάρος (230 γραμμάρια) και μπορεί να λειτουργήσει σε συνθήκες θερμοκρασίας -30 έως +55C και σε συνθήκες υγρασίας 10% έως 90%.

Είναι απλή ως προς την συνδεσιμότητα χρειάζεται ένα βύσμα ethernet RJ45 και τροφοδοσία passive PoE (Power over ethernet). Διατίθεται σε δυο εκδόσεις ανάλογα την διάθεση των συχνοτήτων Lora στην εκάστοτε περιοχή. Εμείς χρησιμοποιούμε την έκδοση EU868 που λειτουργεί σε RF συχνότητες 863-873MHz.[37]

Το Lorix είναι βασισμένο σε έναν επεξεργαστή ARM Cortex-A5 @ 600MHz, διαθέτει μνήμη 128mb DDR2@200MHz, εσωτερική μνήμη 512MB τύπου NAND FLASH. Η μνήμη μπορεί να επεκταθεί με την χρήση microSD κάρτα μνήμης.

Μαζί με την πύλη χρησιμοποιούμε και μια κεραία 4dbi 495mm η οποία βιδώνει στο Lorix με ένα βύσμα τύπου N.

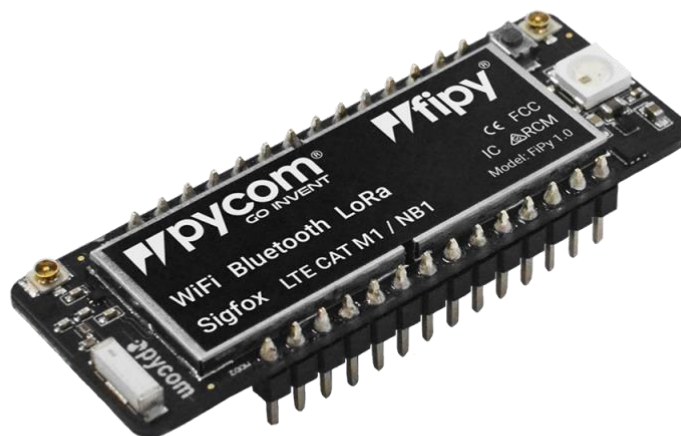


Εικόνα 11 Πύλη διασύνδεσης LORIX One

1.2 Πλακέτα ανάπτυξης Pycom FiPy

Η πλακέτα Pycom FiPy είναι μια πλακέτα με μικροεπεξεργαστή οι οποία δέχεται κάποια σήματα εισόδου και προγραμματίζεται ώστε να παράγει τα επιθυμητά σήματα εξόδου. Είναι βασισμένη σε έναν μικροελεγκτή ESP-32. Το κύριο χαρακτηριστικό και πλεονέκτημα αυτής της πλακέτας είναι ότι προσφέρει συνδεσιμότητα με πολλά πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως WiFi, Bluetooth, LoRa, Sigfox, LTE CAT M1/NB IoT. Δίνει την δυνατότητα τοποθέτησης εξωτερικής κεραίας για τα δίκτυα επικοινωνίας. Ο συνδυασμός του πλήθους των υποστηριζόμενων δικτύων και της χαμηλής κατανάλωσης ισχύος την καθιστούν ιδανική πλακέτα για IoT εφαρμογές.

Η FiPy προγραμματίζεται σε μια διαμορφωμένη για μικροελεγκτές έκδοση της Python την Micropython.[40]



Εικόνα 12 Πραγματική φωτογραφία FiPy.

1.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά FiPy

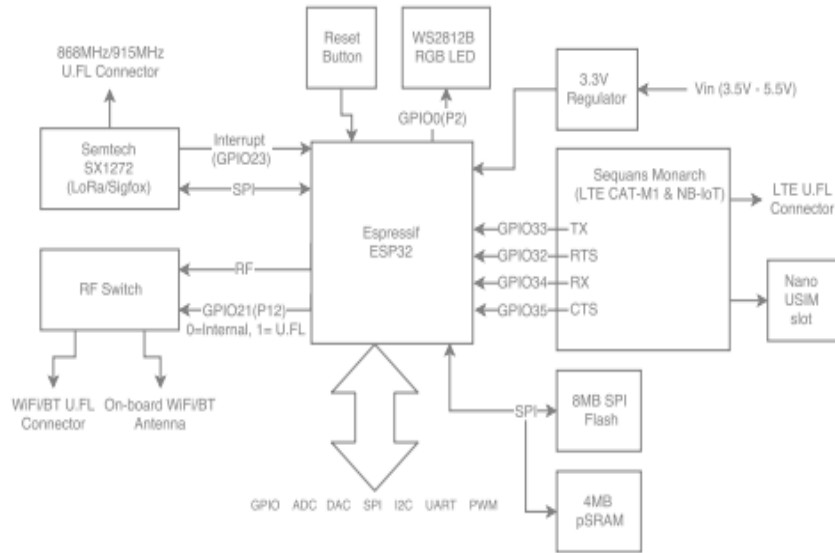
Όπως αναφέραμε το FiPy είναι εφοδιασμένο με ένα ESP-32 της εταιρείας Espressif. Συγκεκριμένα ο επεξεργαστής είναι ένας διπύρηνος Xtensa dual-core 32bit LX με συχνότητα 240MHz. Προσφέρει σύνδεση Wi-Fi και Bluetooth 4.2 και Bluetooth Low Energy. Διαθέτει μνήμη ROM 448Kb για τις κύριες λειτουργίες του αλλά και για την έναρξη του μικροελεγκτή. Επιπλέον έχει 520Kb για την αποθήκευση δεδομένων. Μνήμη RTC για την λειτουργία βαθύ ύπνου όπως και flash μνήμη.[29]

Διαθέτει περιφερειακές εισόδους και εξόδους όπως Analog to digital converter(ADCs), Digital to analog converters(DACs), Inter Integrated circuit (I²C), Controller Area Network(CAN 2.0), universal asynchronous receiver/transmitter (UART), Serial Peripheral Interface(SPI), Integrated Inter-IC Sound (I²S), Reduced Media-Independent Interface(RMII), pulse width modulation (PWM).

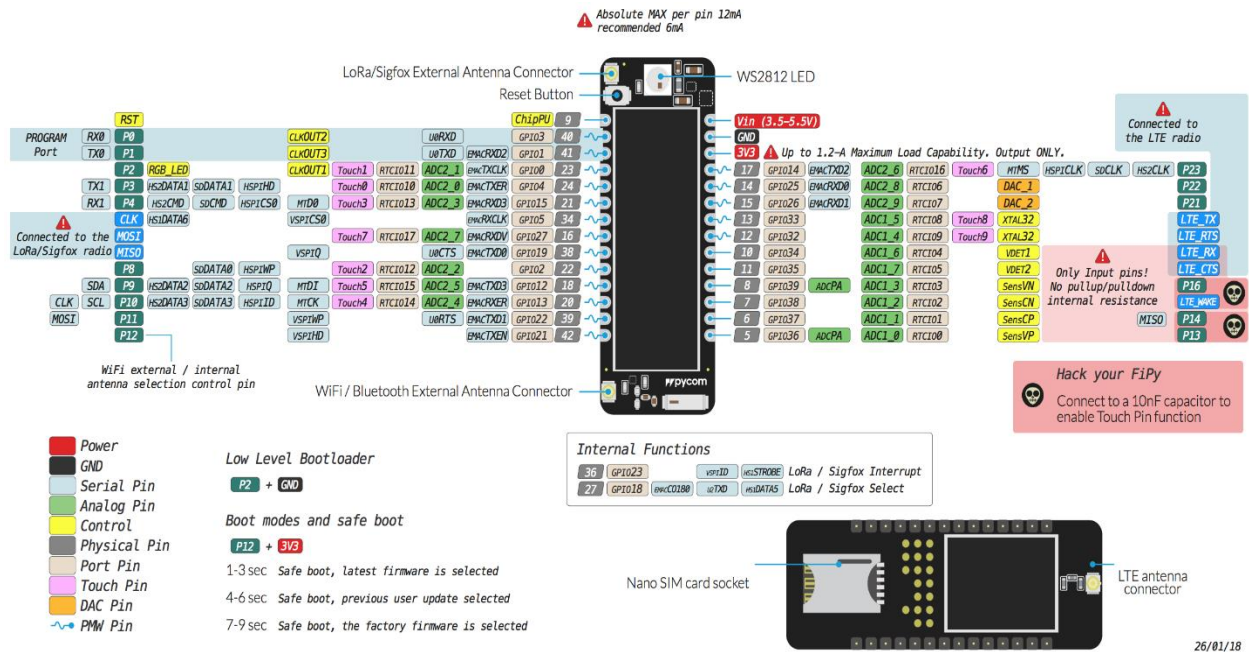
Τέλος είναι ένας υπέρ χαμηλής κατανάλωσης ισχύος επεξεργαστής που δίνει την δυνατότητα κάποιων επεξεργασιών όπως μετατροπές ADC ακόμα και όταν βρίσκεται σε βαθύ ύπνο.

1.2.2 Hardware Fipy

4.0 Block Diagram



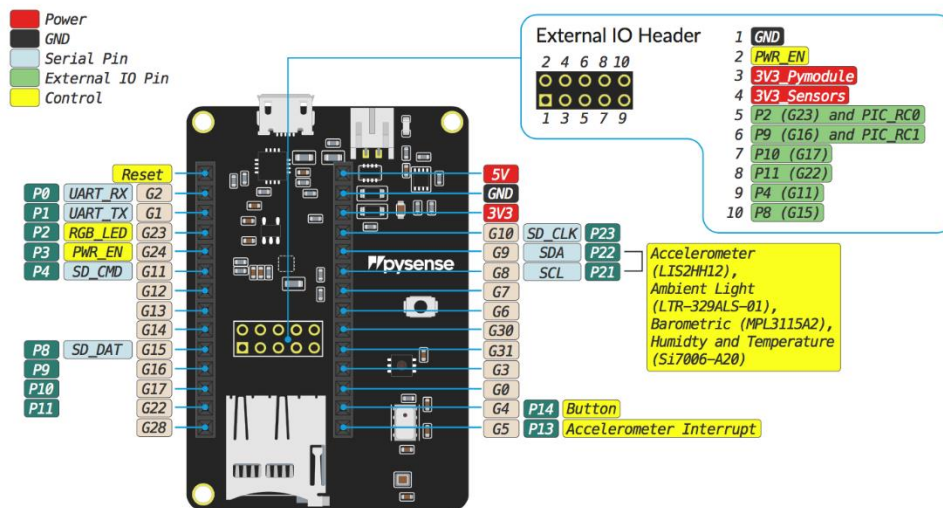
Εικόνα 13 Fipy Block Diagram



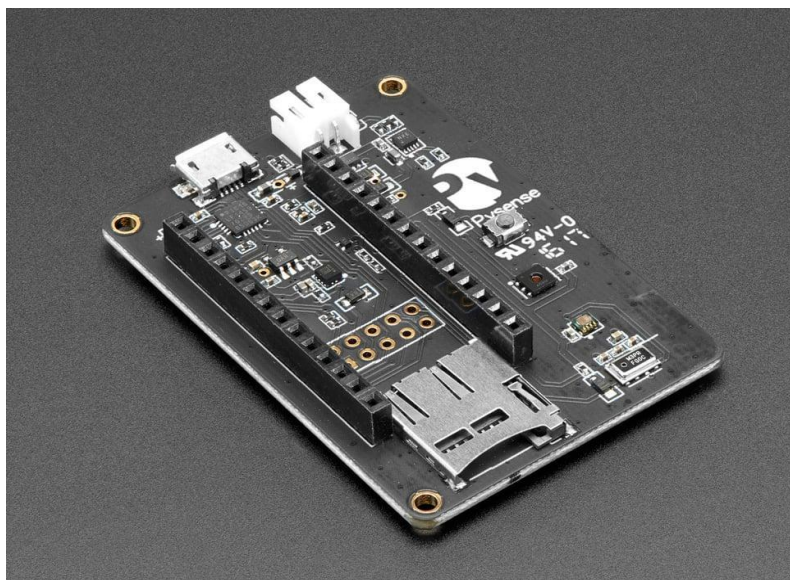
Εικόνα 14 Fipy Pinout

1.3 PySense Shield

Το Pysense είναι μια πλακέτα επέκτασης στην οποία τοποθετείται πάνω το FiPy. Η πλακέτα Pysense προσφέρει αισθητήρες φωτός, θερμοκρασίας, υγρασίας, βαρομετρικής πίεσης, υψόμετρου και 3 αξόνων επιταχυνσιόμετρο. Επιπλέον μας δίνει την δυνατότητα της επικοινωνίας το FiPy με τον υπολογιστή μας με την χρήση USB σειριακής επικοινωνίας καθώς και την δυνατότητα χρήσης Micro SD κάρτα μνήμης για την αποθήκευση δεδομένων. Διαθέτει βύσμα για την τοποθέτηση μπαταρίας λιθίου (LiPo) αλλά και κύκλωμα φόρτισης της μπαταρίας (4.2V/450mA).[42]



Εικόνα 15 PySense Pinout Πλακέτα επέκταση με αισθητήρες



Εικόνα 16 Πραγματική φωτογραφία Pysense

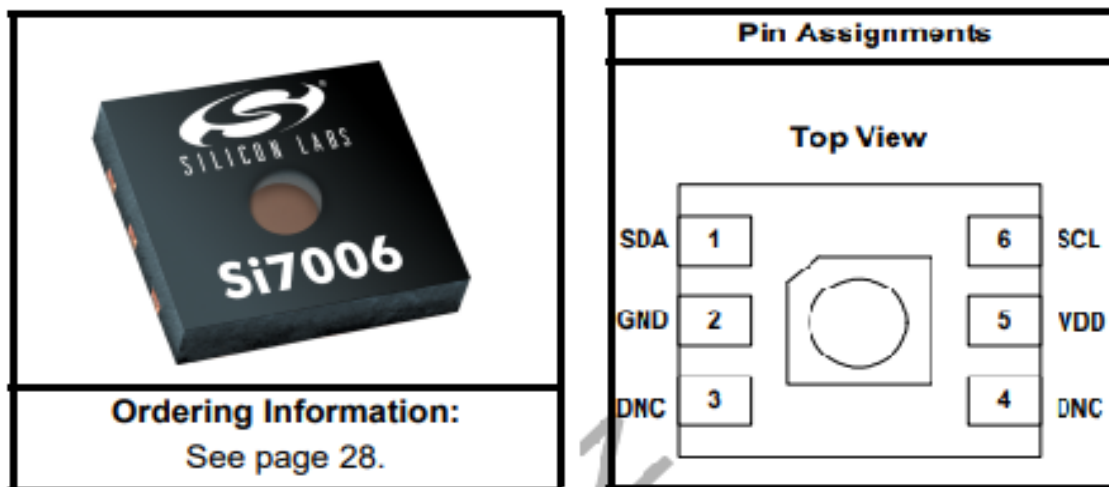
1.3.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας / Υγρασίας SI7006A20

Ο συγκεκριμένος ψηφιακός αισθητήρας παράγεται από την Silicon Labs είναι ακριβείας, χαμηλής ισχύος και βαθμονομημένος από το εργοστάσιο. Έχει την δυνατότητα μέτρησης θερμοκρασίας μεταξύ -10 έως +85 °C με σφάλμα μέτρησης +/- 1°C και υγρασίας μεταξύ 0-90% με ακρίβεια +/- 5%.

Λειτουργεί στους -40 έως 125 °C και η τάση τροφοδοσίας του είναι 1.9 έως 3.6 V. Έχει μικρή κατανάλωση και σε κατάσταση λειτουργίας αλλά και σε κατάσταση αναμονής. Συγκεκριμένα 150μΑ και 60nΑ αντίστοιχα.

Η επικοινωνία του αισθητήρα με τον μικροελεγκτή γίνεται μέσω του πρωτοκόλλου επικοινωνίας I²C που τον καθιστά έναν πολύ εύκολο στην διασύνδεση αισθητήρα. Το μικρό του μέγεθος (3x3mm) τον καθιστά μια καλή επιλογή σε εφαρμογές με περιορισμένο χώρο.

Βρίσκει χρήση σε εφαρμογές κλιματισμού, θερμοστάτες, σε οικιακές λευκές συσκευές και σε εσωτερικούς σταθμούς μέτρησης ατμοσφαιρικών συνθηκών.[30]



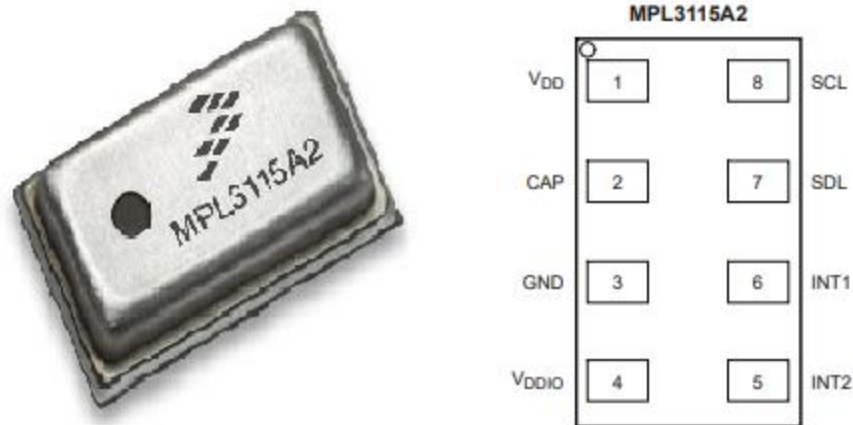
Εικόνα 17 Ο αισθητήρας SI7006A20.

1.3.2 Αισθητήρας Βαρομετρικής Πίεσης/Υψόμετρου/θερμοκρασίας MPL3115A2

Ο MPL3115A2 κατασκευάζεται από την NXP είναι ένας ψηφιακός αισθητήρας βαρομετρικής πίεσης και υψόμετρου. Το εύρος μέτρησης είναι 20kPa έως 110kPa για την πίεση -698m έως 11,775m για το υψόμετρο και -40 έως 85°C για την θερμοκρασία.

Όπως και στον αισθητήρα θερμοκρασίας υγρασίας έχουμε και εδώ επικοινωνία με I²C για εύκολη διασύνδεση.

Τάση τροφοδοσίας 1.95 έως 3.6V και κατανάλωση 8.5μΑ κατά την μέτρηση και 2μΑ σε κατάσταση αναμονής.[41]



Εικόνα 18 Αισθητήρας MPL3115A2

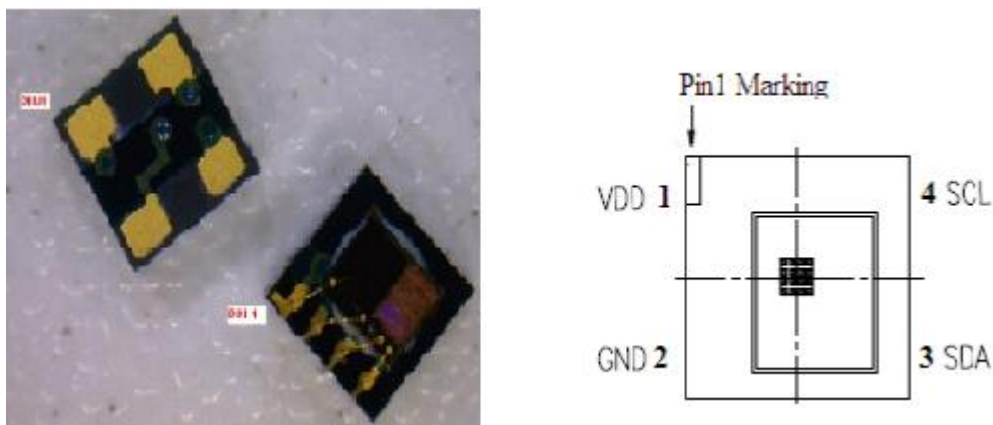
Χρησιμοποιείται κυρίως σε φορητές συσκευές όπως smartphone, σε GPS και σε συσκευές μέτρησης καιρικών φαινομένων.

1.3.3 Αισθητήρας Φωτός LTR329ALS01.

Ψηφιακός αισθητήρας φωτός κατασκευασμένος από την εταιρεία Lite-On. Έχει εύρος μέτρησης 0.01 έως 64.000 lux. Η επικοινωνία γίνεται με I²c διασύνδεση. Είναι πολύ μικρού μεγέθους 2x2mm.

Τροφοδοτείται με 2.4 έως 3.6V και η κατανάλωση του είναι 220μΑ κατά την μέτρηση και 5μΑ σε αναμονή.

Χρησιμοποιείται κυρίως σε για τον έλεγχο οπίσθιο φωτισμού σε οθόνες φορητών συσκευών.[33]



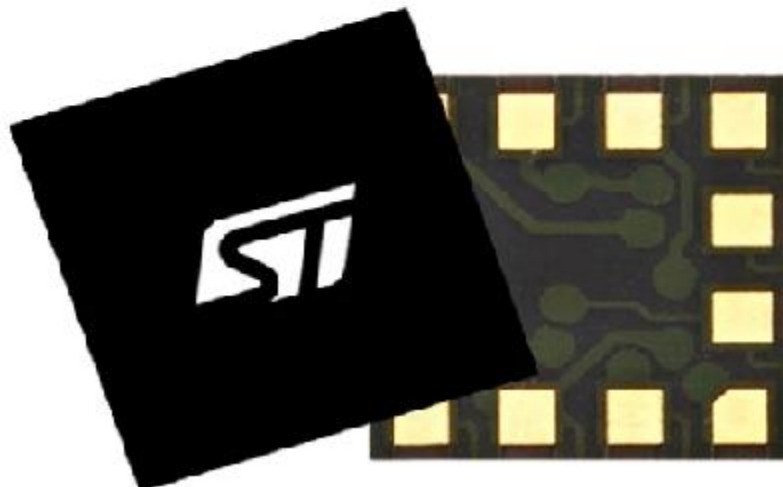
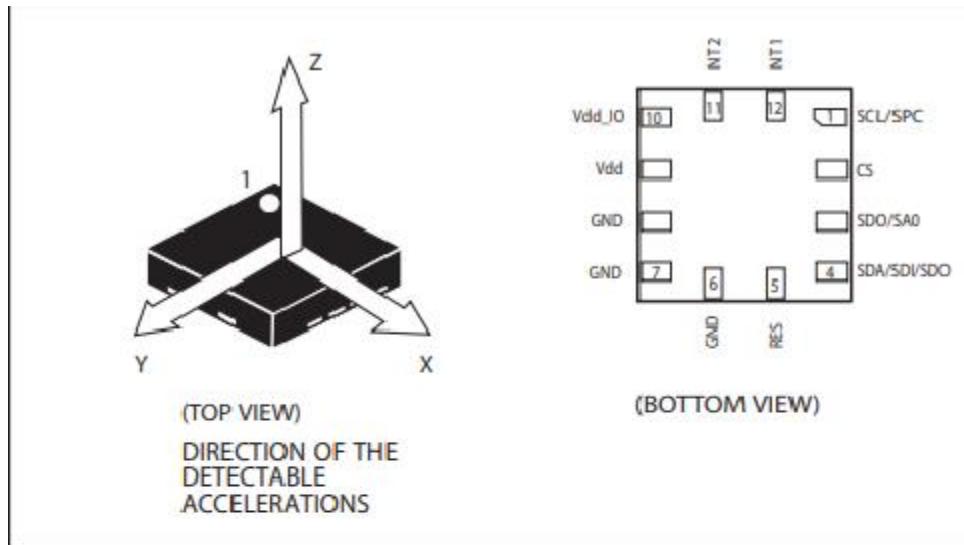
Εικόνα 19 Αισθητήρας LTR329ALS01.

1.3.4 Επιταχυνσιόμετρο LIS2HH12

Ο LIS2HH12 είναι ένας αισθητήρας επιτάχυνσης τριών αξόνων από την εταιρεία STMicroelectronics. Έχει εύρος μέτρησης $+2g$, $+4g$, $+8g$.

Η διασύνδεση με τον μικροελεγκτή μπορεί να γίνει με I²c ή SPI. Η τάση λειτουργίας είναι 1.71 έως 3.6V και η κατανάλωση 180μΑ κατά την μέτρησή και 5μΑ σε αναμονή.

Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν ακριβή μέτρηση της επιτάχυνσης σε τρεις διαστάσεις όπως smartphones, smartwatches.[25]



Εικόνα 20 Αισθητήρας LIS2HH12

1.4 Νεφοϋπολογιστικές πλατφόρμες συλλογής δεδομένων

Στην συγκεκριμένη διπλωματική τα δεδομένα μεταφέρονται από το Fipy στο διαδίκτυο μέσω της πύλης διασύνδεσης Lorix-one όπως αναφέραμε στο προηγούμενο κεφάλαιο και της διαδικτυακής πλατφόρμας The Things Network(TTN). Στην συνέχεια από το The Things Network τα δεδομένα μεταφέρονται στην πλατφόρμα ThingSpeak για την αποθήκευση και οπτικοποίηση των μετρήσεων. Στο ThingSpeak έχουμε την δυνατότητα χρήσης αλγορίθμων MatLab για επεξεργασία των δεδομένων.

1.4.1 The Things Network(TTN)

Το The Things Network είναι μια πλατφόρμα η οποία παρέχει εργαλεία για την δημιουργία ενός παγκόσμιου IoT οικοσυστήματος βασισμένο στο δίκτυο LoRaWAN. Δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να συνδέουν gateways και τους κόμβους τους ώστε να μεταφέρονται τα δεδομένα από το δίκτυο LoraWAN στο διαδίκτυο. Παρέχει εργαλεία σύνδεσης με άλλες εφαρμογές και API για την μεταφορά αποθήκευση και περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων. Το TTN είναι χτισμένο πάνω στο σε έναν διακομιστή δικτύου το The Things Stack το οποίο είναι υπεύθυνο για την ασφαλή διαχείριση εκατομμυρίων LoRaWAN συσκευών που είναι συνδεδεμένες στο TTN.

1.4.2 ThingSpeak

ThingSpeak είναι μια διαδικτυακή πλατφόρμα λήψης και ανάλυσης δεδομένων από IoT συσκευές σε πραγματικό χρόνο. Η πλατφόρμα παρέχεται από την εταιρεία Mathworks η οποία είναι ιδιοκτήτρια του Matlab. Το ThingSpeak συνδέεται με την πλατφόρμα The Things Network και λαμβάνει τα δεδομένα από τους έξυπνους κόμβους του δικτύου. Το ThingSpeak δίνει την δυνατότητα για παρουσίαση των δεδομένων σε γραφήματα, την αποθήκευση και εξαγωγή των δεδομένων για άλλες εφαρμογές και δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης αλγορίθμων και εργαλείων MatLab για την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνει.

1.5 Λογισμικό προγραμματισμού FiPy

VS Code

Το VS Code (Visual Studio Code) είναι ένα περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα από την Microsoft. Είναι ευέλικτο και παραμετροποιήσιμο καθώς προσφέρει μια πληθώρα επεκτάσεων με εργαλεία ανάλογα τις εφαρμογές που αναπτύσσουμε με αυτό. Προσφέρει εργαλεία που κάνουν την συγγραφή κώδικα γρηγορότερη όπως εργαλεία απασφαλμάτωσης (Debugging), αυτόματη ολοκλήρωση εντολών, συντομεύσεις και αλλά πολλά.

Στην εργασία τον χρησιμοποιήσαμε για την συγγραφή κώδικα για την πλακέτα ανάπτυξης Rycorn Fipy. Χρησιμοποιώντας την κατάλληλη επέκταση PyMaker. Μας δίνει την δυνατότητα για το ανέβασμα του κώδικά μας στο Fipy αλλά και για την ανάγνωση της σειριακής επικοινωνίας μέσω

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

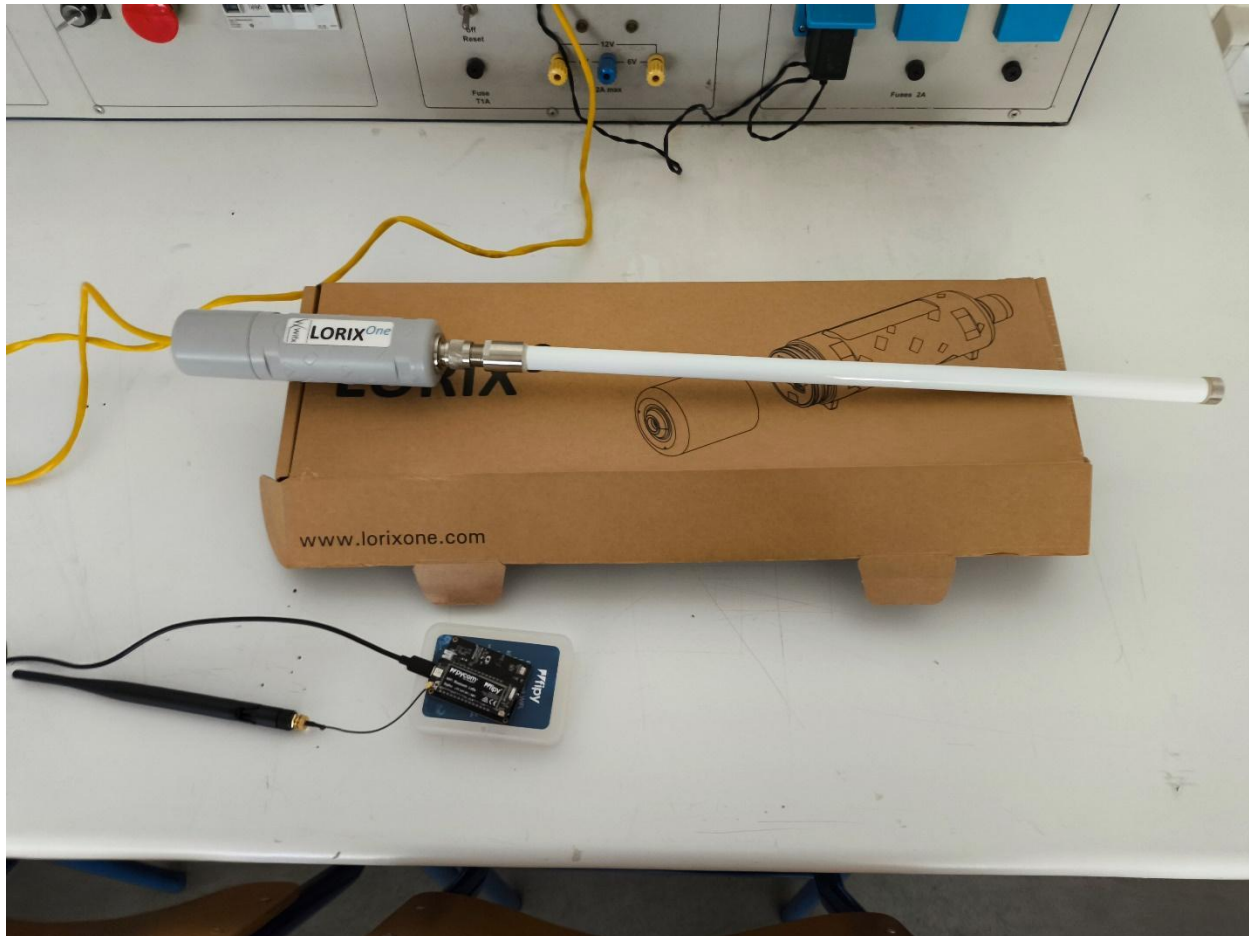
USB ώστε να έχουμε έλεγχο στις πληροφορίες που στέλνει το Firy και για το σωστό debugging του κώδικά μας εμφανίζοντας μηνύματα στο τερματικό της σειριακής διεπαφής.

2. Υλοποίηση

2.1 Παρουσίαση

Στις παρακάτω φωτογραφίες παρουσιάζεται το υλικό hardware της κατασκευής.

Απαρτίζεται από το Μικροελεγκτή Pycom ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος πάνω στην πλακέτα με τους αισθητήρες και την σειριακή επικοινωνία μέσω USB για προγραμματισμό Pysense Shield, η κεραία για την επικοινωνία το Pycom με την πύλη διασύνδεσης (GateWay) του LoRa καθώς και η πύλη διασύνδεσης LORIX–One.



Εικόνα 21 Κατασκευή

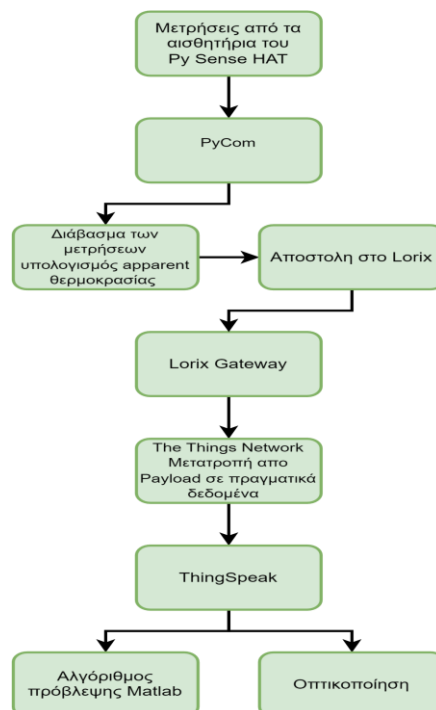
Στην παραπάνω φωτογραφία βλέπουμε το Gateway LORIX One μαζί με την κεραία του και την πλακέτα PySense με τον μικροελεγκτή FiPy και την κεραία για την επικοινωνία με το Gateway

2.2 Επεξήγηση της κατασκευής.

Χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες που βρίσκονται πάνω στην πλακέτα επέκτασης Pysense shield ο μικροελεγκτής Pycom κάνει μετρήσεις στην συνέχεια επεξεργάζεται τοπικά (Edge Computing) τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τον μαθηματικό τύπο από το την μετεωρολογική υπηρεσία της Αμερικής [24],[43] και παράγει μια προβλεπόμενη τιμή Apparent temperature στην συνέχεια επικοινωνεί με την νέφο-υπολογιστική πλατφόρμα The Things Network μέσω της πύλης διασύνδεσης. Από την πλατφόρμα νέφους τα δεδομένα μεταφέρονται στην διαδικτυακή εφαρμογή ThingSpeak όπου γίνεται πρόβλεψη με εκπαιδευμένο με παλαιότερα δεδομένα αλγόριθμο γραμμικής παλινδρόμησης και οπτικοποιούνται τα δεδομένα για περαιτέρω μελέτη.

Με το όρο edge αναφερόμαστε στο υπολογιστικό μοντέλο κατά το οποίο η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιείται κοντά στην πηγή τους δηλαδή η επεξεργασία γίνεται στις ίδιες τις συσκευές που κάνουν την συλλογή δεδομένων είτε σε τοπικούς διακομιστές αντί να αποστέλλονται σε Cloud η στους κεντρικούς διακομιστές για επεξεργασία. Η χρήση του μοντέλου edge δίνει την δυνατότητα για γρήγορη επεξεργασία καθώς δεν χρειάζεται χρόνος για την αποστολή. Η χρήση edge μειώνει την κατανάλωση δικτυακών πόρων καθώς δεν στέλνουμε μεγάλο όγκο δεδομένων για επεξεργασία στο Cloud

2.3 Τοπολογία εφαρμογής.



Εικόνα 22 Διάγραμμα ροής εφαρμογής

2.4 Σύνδεση του κόμβου με το TTN για την αποστολή δεδομένων

Για την αποστολή των δεδομένων από τον κόμβο στο Cloud πρώτα πρέπει να συνδέσουμε τον Gateway στο The Things Network. Η σύνδεση γίνεται με τη χρήση του id που αναγράφεται πάνω στο gateway ενώ στη συνέχεια πρέπει να δημιουργήσουμε ένα application στο TTN όπου θα συνδέσουμε τον μικροελεγκτή Firy.

Από τα application θα πάρουμε τα κλειδιά που θα χρειαστούμε για να τα βάλουμε στον κώδικα του μικροελεγκτή ώστε να μπορεί να επικοινωνήσει με το cloud μας. Χρησιμοποιούμε OTAA (Over the air authentication) ως τρόπο αυθεντικοποίησης.

Μέρος κώδικα Firy για την επικοινωνία με το Gateway.

(Ο κώδικας ολοκληρωμένος βρίσκεται στο κεφάλαιο 7.10)

```
# LoRa setup
lora = LoRa(mode=LoRa.LORAWAN, region=LoRa.EU868)

# Credentials
app_eui = ubinascii.unhexlify('0F56F9D0C2FCB92E')
app_key = ubinascii.unhexlify('E8EA6C371DD1D8D0B29A4F2091A6D876')

# Lora connection
lora.join(activation=LoRa.OTAA, auth=(app_eui, app_key), timeout=0)

while not lora.has_joined():
    time.sleep(2.5)
    print('Not yet joined...')

print('Joined')
```

Τα δεδομένα αποστέλλονται σε μορφή payload.

Payload ονομάζεται το πραγματικό περιεχόμενο από τα δεδομένα που αποστέλλονται μέσω ενός δικτύου. Δηλαδή τα δεδομένα που ενδιαφέρουν το παραλήπτη. Ένα μήνυμα που αποστέλλεται εκτός από τα πραγματικά ωφέλιμα δεδομένα περιέχει και επιπλέον δεδομένα τα οποία είναι απαραίτητα για την διαχείριση και την μετάδοση των δεδομένων όπως διευθύνσεις και στοιχεία πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Τα επιπλέον δεδομένα ονομάζονται overhead.

Για την εξαγωγή των πραγματικών και ωφέλιμων δεδομένων χρησιμοποιείται κώδικας μορφοποίησης (payload formatter) ο οποίος τα μετατρέπει σε κατανοητή μορφή και κατάλληλη για την επεξεργασία τους σε κάποια άλλη εφαρμογή.

Στο TTN τα δεδομένα αποστέλλονται σε μορφή byte. Ο payload formatter τα αποκωδικοποιεί σε μορφή JSON ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές μέσα στο TTN.

Χρησιμοποιώντας μερικές εντολές κώδικα JavaScript κάνουμε format το payload σε πραγματικά δεδομένα για περαιτέρω επεξεργασία.

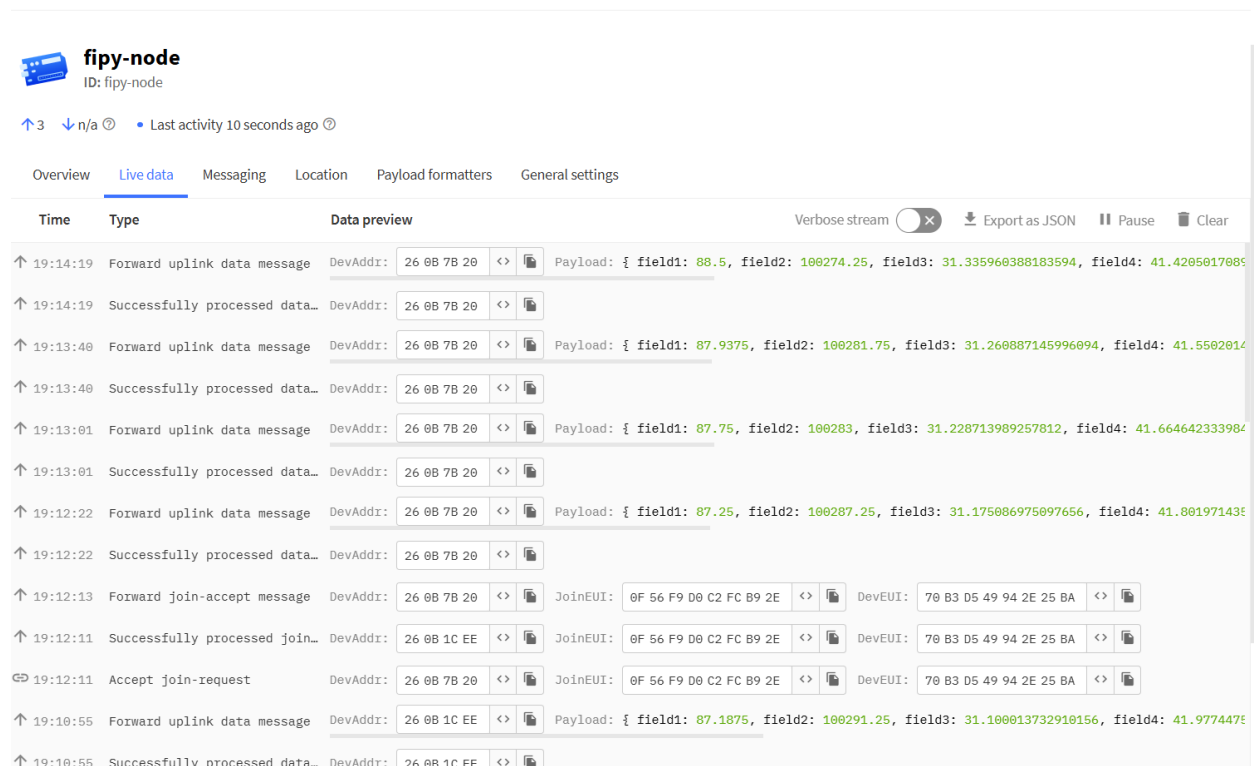
Μέρος του Payload Formatter στο TTN

(Ο κώδικας ολοκληρωμένος βρίσκεται στο κεφάλαιο 7.10)

```
1 function bytesToFloat(bytes) {
2   var buffer = new ArrayBuffer(4);
3   var view = new DataView(buffer);
4   bytes.reverse().forEach(function (b, i) {
5     view.setUint8(i, b);
6   });
7   return view.getFloat32(0, true);
8 }
9
10 function Decoder(bytes, port) {
11   var altitudeBytes = bytes.slice(0, 4);
12   var pressureBytes = bytes.slice(4, 8);
13   var temperatureBytes = bytes.slice(8, 12);
14   var humidityBytes = bytes.slice(12, 16);
15   var windSpeedBytes = bytes.slice(16, 20); // Assuming wind spe
16   var heat_indexCBytes = bytes.slice(20, 24);
17
18   var altitude = bytesToFloat(altitudeBytes);
19   var pressure = bytesToFloat(pressureBytes);
20   var temperature = bytesToFloat(temperatureBytes);
21   var humidity = bytesToFloat(humidityBytes);
22   var windSpeed = bytesToFloat(windSpeedBytes); // Convert wind
23   var heat_indexC = bytesToFloat(heat_indexCBytes);
24
25   return {
```

Εικόνα 23 Payload Formatter

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών



The screenshot displays the 'fipy-node' interface with the 'Live data' tab selected. The interface shows a list of messages with columns for Time, Type, and Data preview. The messages include 'Forward uplink data message' and 'Successfully processed data...'. The data preview for 'Forward uplink data message' shows a payload with four fields: field1, field2, field3, and field4, each containing numerical values. The interface also includes a 'Verbose stream' toggle, 'Export as JSON', 'Pause', and 'Clear' buttons.

Time	Type	Data preview
↑ 19:14:19	Forward uplink data message	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> Payload: { field1: 88.5, field2: 100274.25, field3: 31.335960388183594, field4: 41.4205017085 }
↑ 19:14:19	Successfully processed data...	DevAddr: 26 0B 7B 20 <>
↑ 19:13:40	Forward uplink data message	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> Payload: { field1: 87.9375, field2: 100281.75, field3: 31.260887145996094, field4: 41.5502014 }
↑ 19:13:40	Successfully processed data...	DevAddr: 26 0B 7B 20 <>
↑ 19:13:01	Forward uplink data message	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> Payload: { field1: 87.75, field2: 100283, field3: 31.228713989257812, field4: 41.664642333984 }
↑ 19:13:01	Successfully processed data...	DevAddr: 26 0B 7B 20 <>
↑ 19:12:22	Forward uplink data message	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> Payload: { field1: 87.25, field2: 100287.25, field3: 31.175086975097656, field4: 41.801971438 }
↑ 19:12:22	Successfully processed data...	DevAddr: 26 0B 7B 20 <>
↑ 19:12:13	Forward join-accept message	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> JoinEUI: 0F 56 F9 D0 C2 FC B9 2E <> DevEUI: 70 B3 D5 49 94 2E 25 BA <>
↑ 19:12:11	Successfully processed join...	DevAddr: 26 0B 1C EE <> JoinEUI: 0F 56 F9 D0 C2 FC B9 2E <> DevEUI: 70 B3 D5 49 94 2E 25 BA <>
⌘ 19:12:11	Accept join-request	DevAddr: 26 0B 7B 20 <> JoinEUI: 0F 56 F9 D0 C2 FC B9 2E <> DevEUI: 70 B3 D5 49 94 2E 25 BA <>
↑ 19:10:55	Forward uplink data message	DevAddr: 26 0B 1C EE <> Payload: { field1: 87.1875, field2: 100291.25, field3: 31.100013732910156, field4: 41.9774478 }
↑ 19:10:55	Successfully processed data...	DevAddr: 26 0B 1C EE <>

Εικόνα 24 Λήψη δεδομένων στο TTN από τον μικροελεγκτή.

2.5 Πλατφόρμα ThingSpeak και πρόβλεψη στο Cloud

Μέσω των Webhooks στο TTN επικοινωνούμε με το ThingSpeak. Στο ThingSpeak δημιουργούμε ένα λογαριασμό και στη συνέχεια ένα κανάλι στο οποίο επιλέγουμε ποια δεδομένα θα διαβάζει από το TTN. Στη συνέχεια προσθέτουμε διαγράμματα για την οπτική απεικόνιση των μεταβλητών αλλά και της προβλεπόμενης θερμοκρασίας. Στο ThingSpeak με την επιλογή Matlab Analysis γράφουμε τον κώδικα Matlab για την πρόβλεψη της αισθητή θερμοκρασίας με την μέθοδο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Επιλέγουμε τότε θα ενεργοποιείται ο αλγόριθμος ώστε να γίνεται η πρόβλεψη.

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

The screenshot shows the 'Edit webhook for ThingSpeak' configuration page. The 'General settings' section includes a 'Webhook ID' field with the value 'thingspeak-thesis', a 'Webhook format' dropdown set to 'JSON', and a 'Base URL' field with the value 'https://api.thingspeak.com/things_network/v3/update'. Below this is a 'Downlink API key' field. The 'Request authentication' section has a checkbox for 'Use basic access authentication (basic auth)'. The 'Additional headers' section contains three entries: 'ChannelId' with value '2365595', 'Content-Type' with value 'application/json', and 'Authorization' with value '4YEF398C00WTHGVK'. There is also a 'Filter event data' section with an 'Add filter path' button.

Εικόνα 25 TTN Thingspeak Webhook

Thesis

Channel ID: 2365595
Author: mwa0000025443312
Access: Private

Private View Public View Channel Settings Sharing API Keys Data Import / Export

Channel Settings

Percentage Complete 30%

Channel ID 2365595

Name Thesis

Description

Field 1

Field 2

Field 3 temperature

Field 4 humidity

Field 5 windSpeed

Field 6 heat_indexC

Field 7 predictedApparentTemp

Field 8

Metadata

Help

Channels store all the data that a ThingSpeak application collects. Each channel includes eight fields that can hold any type of data, plus three fields for location data and one for status data. Once you collect data in a channel, you can use ThingSpeak apps to analyze and visualize it.

Channel Settings

- Percentage complete:** Calculated based on data entered into the various fields of a channel. Enter the name, description, location, URL, video, and tags to complete your channel.
- Channel Name:** Enter a unique name for the ThingSpeak channel.
- Description:** Enter a description of the ThingSpeak channel.
- Field#:** Check the box to enable the field, and enter a field name. Each ThingSpeak channel can have up to 8 fields.
- Metadata:** Enter information about channel data, including JSON, XML, or CSV data.
- Tags:** Enter keywords that identify the channel. Separate tags with commas.
- Link to External Site:** If you have a website that contains information about your ThingSpeak channel, specify the URL.
- Show Channel Location:**
 - Latitude:** Specify the latitude position in decimal degrees. For example, the latitude of the city of London is 51.5072.
 - Longitude:** Specify the longitude position in decimal degrees. For example, the longitude of the city of London is -0.1275.
 - Elevation:** Specify the elevation position meters. For example, the elevation of the city of London is 35.052.
- Video URL:** If you have a YouTube™ or Vimeo® video that displays your channel information, specify the full path of the video URL.
- Link to GitHub:** If you store your ThingSpeak code on GitHub®, specify the GitHub repository URL.

Εικόνα 26 Κανάλι επικοινωνίας Thingspeak.

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

The screenshot shows the ThingSpeak interface for a custom MATLAB app. The app name is "Custom (no starter code) 4". The MATLAB code is as follows:

```

1 % Thingspeak Channel ID and API Key
2 readChannelID = 2365595;
3 readAPIKey = 'G29GCHM3UXXK032';
4 writeChannelID = 2365595;
5 writeAPIKey = '4YEF39GCD0M7NGVK';
6
7 % Retrieve data from Thingspeak channel fields
8 numPoints = 1; % Number of points to retrieve
9 tempData = thingspeakRead(readChannelID, 'readkey', readAPIKey, 'fields', 3, 'numPoints', numPoints);
10 windData = thingspeakRead(readChannelID, 'readkey', readAPIKey, 'fields', 5, 'numPoints', numPoints);
11 humidityData = thingspeakRead(readChannelID, 'readkey', readAPIKey, 'fields', 4, 'numPoints', numPoints);
12
13 % Check if data was successfully retrieved
14 if isempty(tempData) || isempty(humidityData) || isempty(windData)
15     error('Failed to retrieve data from Thingspeak.');
```

Εικόνα 27 Matlab Analysis για την εκτέλεση αλγορίθμων στο Cloud.

The screenshot shows the ThingSpeak channel page for "Thesis" (Channel ID: 2365595). The channel is set to "Private View". It features four data visualizations:

- Field 3 Chart:** A line chart titled "Temperature" showing temperature in degrees Celsius over time (06:00 to 18:00). The temperature starts at approximately 38°C, drops to 36°C, and then rises to 38°C.
- Field 4 Chart:** A line chart titled "Humidity" showing humidity over time. The humidity remains relatively stable around 40-50%.
- Field 5 Chart:** A gauge chart titled "Temperature" showing a current value of 36.44110870361328 °C.
- Field 6 Chart:** A gauge chart titled "Humidity" showing a current value of 41.283172607421875.

Εικόνα 28 Οπτικοποίηση στο ThingSpeak

2.6 Αλγόριθμος πρόβλεψης on edge.

Για την αξιοποίηση του edge computing, αφού γίνουν οι μετρήσεις, πριν σταλούν στο cloud για πρόβλεψη στο εκπαιδευμένο αλγόριθμο γραμμικής παλινδρόμησης, χρησιμοποιούμε τον εμπειρικό μαθηματικό τύπο που δημιούργησε ο Rothfusz κάνοντας γραμμική παλινδρόμηση στα εμπειρικά δεδομένα του Steadman.

Εκτελούμε τον τύπο στο κώδικα του μικροελεγκτή ώστε πριν στείλει τα δεδομένα στο cloud να έχει προβλέψει την αισθητή θερμοκρασία και στην συνέχεια στέλνονται όλα στο TTN για να γίνει πρόβλεψη στον αλγόριθμο στο MATLAB.

3. Σενάριο Λειτουργίας και πειραματικά αποτελέσματα

1. Σενάριο Λειτουργίας

Ο κόμβος μετράει τα δεδομένα θερμοκρασίας υγρασίας και ταχύτητας αέρα και εκτελεί τοπικά τον μαθηματικό τύπο πρόβλεψης της αντιληπτής θερμοκρασίας. Σε συνέχεια στέλνει στο ThingSpeak μέσω του TTN αυτά τα δεδομένα. Εκτελείται ο αλγόριθμός γραμμικής παλινδρόμησης ο οποίος είναι εκπαιδευμένος με 200 τεχνητές τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας αέρα και αντιληπτής θερμοκρασίας. Αφού γίνει πρόβλεψη στο Cloud από τον εκπαιδευμένο αλγόριθμο για τα δεδομένα θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας αέρα που έχει συλλέξει ο κόμβος οπτικοποιούνται στο ThingSpeak.

Για την ολοκληρωμένη λειτουργία της εφαρμογής απαιτείται ένα αισθητήρας ταχύτητας αέρα τύπου Cup. Τον συγκεκριμένο αισθητήρα δεν το διαθέταμε για αυτό χρησιμοποιήσαμε τεχνητές μετρήσεις στην εφαρμογή.

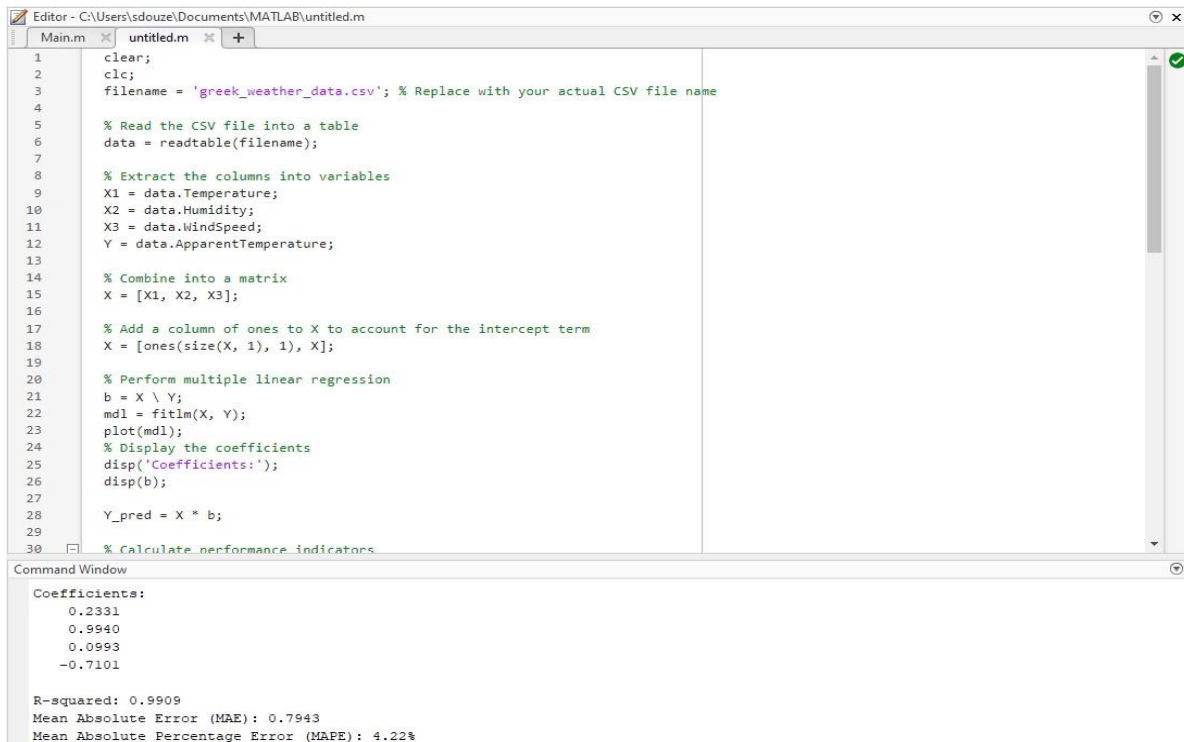
Κοινός τύπος ανεμόμετρου που αποτελείται από 3 φλιτζάνια στις άκρες των βραχιόνων οι οποίοι βρίσκονται σε περιστρεφόμενο άξονα. Όταν φυσάει περιστρέφονται τα φλιτζάνια γύρω από τον άξονα. Ένας αισθητήρας στροφών καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών και στην συνέχεια μέσα στο πρόγραμμα γίνεται μετατροπή του ρυθμού περιστροφής σε ταχύτητα ανέμου. Ο ρυθμός περιστροφής είναι ανάλογος του ανέμου.[26]



Εικόνα 29 Αισθητήρας ταχύτητας αέρα η ανεμόμετρο.

Ο αλγόριθμός εκπαιδεύεται στο Matlab στον υπολογιστή ώστε ο αλγόριθμος στο cloud να είναι εκπαιδευμένος και να μην επιβαρύνεται το cloud και το δίκτυο με το dataset εκπαίδευσης και την διαδικασία εκπαίδευσης του και επειδή κάποιες εντολές και λειτουργίες δεν μπορούν να γίνουν στην έκδοση του Matlab που υπάρχει στο Thingspeak .

Στον αλγόριθμο στον ThingSpeak θα περάσουμε τους συντελεστές που έχουν παραχθεί από την εκπαίδευση του αλγορίθμου.



```
Editor - C:\Users\sdoze\Documents\MATLAB\untitled.m
Main.m x untitled.m x +
1 clear;
2 clc;
3 filename = 'greek_weather_data.csv'; % Replace with your actual CSV file name
4
5 % Read the CSV file into a table
6 data = readtable(filename);
7
8 % Extract the columns into variables
9 X1 = data.Temperature;
10 X2 = data.Humidity;
11 X3 = data.WindSpeed;
12 Y = data.ApparentTemperature;
13
14 % Combine into a matrix
15 X = [X1, X2, X3];
16
17 % Add a column of ones to X to account for the intercept term
18 X = [ones(size(X, 1), 1), X];
19
20 % Perform multiple linear regression
21 b = X \ Y;
22 mdl = fitlm(X, Y);
23 plot(mdl);
24 % Display the coefficients
25 disp('Coefficients:');
26 disp(b);
27
28 Y_pred = X * b;
29
30 % Calculate performance indicators
Command Window
Coefficients:
0.2331
0.9940
0.0993
-0.7101
R-squared: 0.9909
Mean Absolute Error (MAE): 0.7943
Mean Absolute Percentage Error (MAPE): 4.22%
```

Εικόνα 30 Συντελεστές (Coefficients) και δείκτες απόδοσης γραμμικής παλινδρόμησης MatLab

Τύπος πολλαπλής γραμμής παλινδρόμησης $Y=b_0 +b_1X_1+ b_2X_2+b_3X_3$

b_0 =σταθερός όρος

b_1 =Συντελεστής θερμοκρασίας

b_2 =Συντελεστής υγρασίας

b_3 =Συντελεστής ταχύτητας αέρα.

X_1 = ανεξάρτητη μεταβλητή θερμοκρασίας

X_2 = ανεξάρτητη μεταβλητή υγρασίας

X_3 = ανεξάρτητη μεταβλητή ταχύτητα αέρα

Από την εκπαίδευση προκύπτουν 4 συντελεστές. Οι συντελεστές όπως αναφέραμε σε προηγούμενο κεφάλαιο περιγράφουν πώς κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζει την εξαρτώμενη μεταβλητή.

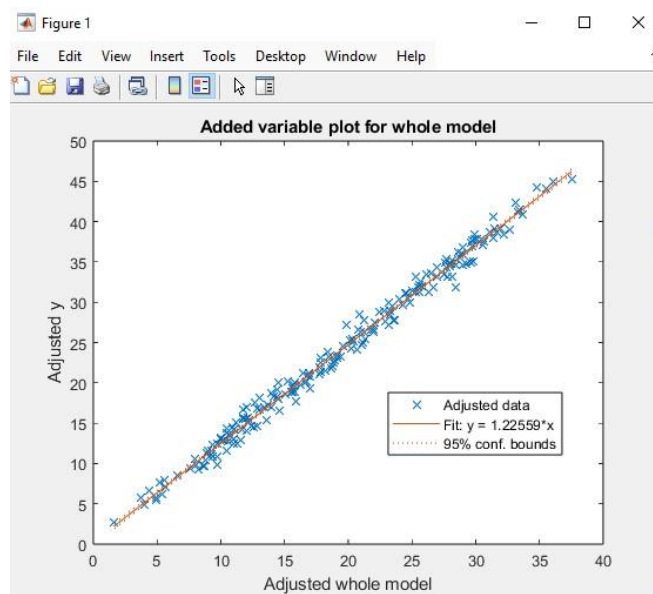
Ο πρώτος συντελεστής αντιστοιχεί στην σταθερά b_0 και δείχνει την τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής όταν όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές είναι μηδενικές.

Οι τρεις υπόλοιποι συντελεστές αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις τρεις ανεξάρτητες μεταβλητές (X_1, X_2, X_3). Αυτοί είναι οι συντελεστές που περιγράφουν πώς κάθε μία από τις ανεξάρτητες μεταβλητές επηρεάζει την εξαρτώμενη μεταβλητή.

Η θερμοκρασία έχει τη μεγαλύτερη θετική επίδραση στη φαινόμενη θερμοκρασία με συντελεστή 0.9940.

Η υγρασία αυξάνει τη φαινόμενη θερμοκρασία αλλά με μικρότερη επίδραση 0.0993.

Η ταχύτητα ανέμου έχει αρνητική επίδραση στη φαινόμενη θερμοκρασία, με κάθε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου να μειώνει τη φαινόμενη θερμοκρασία κατά -0.7101 .



Εικόνα 31 Οπτική απεικόνιση του μοντέλου.

Εκτός από τους συντελεστές μετά την εκπαίδευση του αλγορίθμου, όπως βλέπουμε στην εικόνα 29, μπορούμε να υπολογίσουμε κάποιους δείκτες απόδοσης της γραμμικής παλινδρόμησης. Συγκεκριμένα, έχουμε υπολογίσει τον δείκτη ελαχίστων τετραγώνων (R^2), ο οποίος μετρά το ποσοστό της διακύμανσης της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από το μοντέλο παλινδρόμησης. Ο δείκτης R^2 , όσο πιο κοντά είναι στο 1, υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει πολύ καλή προσαρμογή στα δεδομένα, πρακτικά ότι οι προβλέψεις ταιριάζουν πολύ με τις πραγματικές. Με βάση τα δεδομένα μας, ο αλγόριθμος έχει $R^2 = 0,9909$, άρα το μοντέλο είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό στην πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας.

Επιπλέον, στο MATLAB υπολογίζουμε άλλους δύο δείκτες για την απόδοση του αλγορίθμου: τον Μέσο Απόλυτο Σφάλμα (MAE) και το Μέσο Απόλυτο Ποσοστιαίο Σφάλμα (MAPE).

Ο MAE μας δείχνει τη μέση απόλυτη διαφορά μεταξύ πραγματικών τιμών και των προβλέψεων του μοντέλου. Στο δικό μας μοντέλο, ο $MAE = 0,7943$, που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο οι προβλέψεις αποκλίνουν 0,7943 από τις πραγματικές τιμές.

Τέλος, ο δείκτης MAPE εκφράζει τον MAE ως ποσοστό, βοηθώντας στην κατανόηση της ακρίβειας του μοντέλου. Το ποσοστιαίο σφάλμα στο μοντέλο μας είναι 4,22%.

Τα δεδομένα που έχει εκπαιδευτεί ο αλγόριθμός είναι τεχνητά καθώς δεν έχουμε τη δυνατότητα συλλογής δεδομένων από πολλούς κόμβους και σε διαφορετικές εποχές του χρόνου ώστε ο αλγόριθμός να εκπαιδευτεί με πραγματικές τιμές. Υπάρχει διαθέσιμο ένα dataset μετρήσεων στην Ουγγαρία αλλά οι μετρήσεις της συγκεκριμένης χώρας όλες τις εποχές του χρόνου δεν είναι κοντά στις μετρήσεις της δικής μας χώρας.[8]

Στην συνέχεια συγκρίνουμε τις προβλέψεις για τα ίδια δεδομένα που γίνονται on edge και τις προβλέψεις που γίνονται στο cloud στον εκπαιδευμένο αλγόριθμο πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης.

Λόγω έλλειψης αισθητήρα μέτρησης ταχύτητας αέρα έχουν χρησιμοποιηθεί τεχνητές τιμές, όπως αναγράφονται στο κεφάλαιο 7.10.1.

Οι τεχνητές τιμές ταχύτητας αέρα που χρησιμοποιήθηκαν στον κώδικα του FiPy:

0, 4, 5, 13, 18, 16, 2, 4, 5, 4,

2, 15, 8, 4, 5, 13, 18, 10, 6, 4,

9, 4, 2, 15, 10, 6, 7, 0, 1, 4,

2, 8, 13, 5, 9, 3, 10, 16, 8, 6

2. Σύγκριση αποτελεσμάτων αλγορίθμων Cloud και Edge.

Το σύστημα λειτούργησε από τις 6 το απόγευμα μέχρι τις 7 το πρωί και μετρούσε τα δεδομένα κάθε 20 λεπτά (εκτός από κάποιες ανωμαλίες λόγω λαθών στον κώδικα και κάποιων κολλημάτων). Τα δεδομένα υγρασίας (Humidity) και θερμοκρασίας (Temperature) μετρούνται από τους αισθητήρες σε πραγματικό χρόνο, ενώ τα δεδομένα ταχύτητας αέρα (WindSpeed), όπως αναφέραμε, είναι τεχνητά και περιλαμβάνονται στον κώδικα ώστε κάθε φορά που στέλνονται οι μετρήσεις να αποστέλλεται και μια τιμή ταχύτητας αέρα. Η πρόβλεψη στο edge (Predicted On Edge) γίνεται αφού πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, ενώ η πρόβλεψη στο Predicted on Cloud γίνεται αφού σταλούν τα δεδομένα στο ThingSpeak.



Εικόνα 32 Γραφήματα μετρήσεων ThingSpeak

Όπως βλέπουμε στα γραφήματα, έχουμε τα παρακάτω δεδομένα: Έγινε εξαγωγή από το ThingSpeak σε μορφή CSV και μετά εισαγωγή στο Excel για καθαρισμό των δεδομένων και μορφοποίηση για πιο εύκολη κατανόηση. Όπως βλέπουμε στον παρακάτω Πίνακα 2, οι τιμές On Cloud με τις τιμές On Edge διαφέρουν κατά μέσο όρο ± 7 βαθμών. Θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με τον πίνακα heat index ώστε να συμπεράνουμε ποιος αλγόριθμος είναι πιο ακριβής.

		ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΤΙΛΗΠΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ																					
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ (°C)																					
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	0	25	26	26	27	28	29	30	30	31	31	32	33	34	35	36	36	37	39	39	39	40	40
	10	25	26	27	28	29	30	31	31	32	32	33	35	36	37	38	39	40	42	42	43	44	45
	20	26	27	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	38	39	41	43	44	46	47	48	50	52
	30	26	27	28	29	30	31	32	34	35	35	37	39	41	43	45	48	50	53	54	56	58	
	40	27	27	28	30	31	33	34	36	37	38	41	43	46	48	51	54	58					
	50	27	28	30	31	33	35	37	39	41	42	45	48	51	55	59							
	60	28	29	31	33	35	38	40	43	45	47	50	54	58									
	70	28	30	32	35	38	41	45	48	50	52	57											
	80	29	32	34	38	41	45	49	54	57	59												
	90	30	33	37	41	45	50	55															
	100	32	36	40	44	50	55																

Εικόνα 33 Πίνακας Heat Index (Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου - προγνώστη Ζιακόπουλος Σελ.60)

Λαμβάνοντας 10 τυχαίες τιμές από το τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι

T:Θερμοκρασία

H:Υγρασία

WS:WindSpeed

Cloud:Πρόβλεψη Cloud

Edge:Πρόβλεψη Edge

Tap = Apparent Temperature

1) Για T=34,3175 H=47,9665 WS=0 Cloud=39.1078 Edge=38.3956

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν Tap=39

2) Για T=36.7628 H=41.6570 WS=5 Cloud=37.3614 Edge=41.3683

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν Tap=38

3) Για T=38.5861 H=43.3202 WS=4 Cloud=40,0490 Edge=46,4869

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν Tap=43

4) Για T=36.4411 H=41.2831 WS=8 Cloud=34.8741 Edge=40.5248

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν Tap=38

5) Για T=39,0250 H=42,5420 WS=10 Cloud=36,1802 Edge=47.2810

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν Tap=46

6) Για $T=39.1438$ $H=41,6036$ $WS=8$ $Cloud=37,5925$ $Edge=46,9844$

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν $T_{ap}=46$

7) Για $T=39.3154$ $H=39.1698$ $WS=4$ $Cloud=40.3618$ $Edge=46.1026$

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν $T_{ap}=45$

8) Για $T=38.7362$ $H=43.0684$ $WS=4$ $Cloud=40,1732$ $Edge=46,7379$

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν $T_{ap}=43$

9) Για $T=37.8460$ $H=36.9725$ $WS=0$ $Cloud=41,5234$ $Edge=41,7697$

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν $T_{ap}=39$

10) Για $T=39.1223$ $H=42.7098$ $WS=6$ $Cloud=39.1012$ $Edge=47.5419$

Από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας προκύπτουν $T_{ap}=46$

Παρατηρούμε ότι στις μετρήσεις όπου η ταχύτητα αέρα δεν είναι πολύ υψηλή (< 4), η αντιληπτή θερμοκρασία που προβλέπεται στο Cloud είναι πιο κοντά στη θερμοκρασία από τον πίνακα αντιληπτής θερμοκρασίας. Αντίθετα, όταν η ταχύτητα αέρα είναι υψηλή, η θερμοκρασία από τον πίνακα τείνει προς την προβλεπόμενη θερμοκρασία On Edge, καθώς ο αλγόριθμος στο Edge δεν λαμβάνει την ταχύτητα αέρα ως παράγοντα.

Στήλη1	Temperature2	Humidity2	WindSpeed	On Cloud2	On Edge2
19/8/2024 17:34	34.3175	47.9665		0 39.1078	38.3956
19/8/2024 18:22	37.7495	40.6728		0 41.7949	43.1571
19/8/2024 19:05	39.4226	37.3235		0 43.1254	45.4002
19/8/2024 19:25	36.0979	41.0085		4 37.3461	39.7025
19/8/2024 19:46	36.7628	41.6570		5 37.3614	41.3683
19/8/2024 20:06	38.6933	39.3071		13 33.3662	44.6953
19/8/2024 20:26	38.5754	40.4057		18 29.8075	44.9588
19/8/2024 20:46	38.5861	41.1839		16 31.3156	45.3752
19/8/2024 21:06	38.3180	41.6417		2 41.0360	44.9535
19/8/2024 21:26	38.5861	43.3202		4 40.0490	46.4869
19/8/2024 21:46	38.6290	42.8090		5 39.3307	46.3247
19/8/2024 22:07	38.7362	43.0684		4 40.1732	46.7379
19/8/2024 22:27	36.9880	44.6401		2 40.0118	43.1649
19/8/2024 23:07	36.4411	41.2831		8 34.8741	40.5248
20/8/2024 0:24	37.8460	36.9725		0 41.5234	41.7697
20/8/2024 0:44	37.8997	35.5229		4 38.5924	41.2916
20/8/2024 1:04	38.8864	36.8581		5 38.9957	43.9580
20/8/2024 1:24	40.0661	35.9960		13 34.4019	46.1988
20/8/2024 1:44	40.0661	36.1638		18 30.8681	46.2881
20/8/2024 2:05	39.8624	37.3464		16 32.2032	46.4422
20/8/2024 2:25	39.6693	38.3534		2 42.0527	46.5217
20/8/2024 2:45	39.3368	38.9104		4 40.3573	46.0179
20/8/2024 3:05	39.3154	38.6662		5 39.6017	45.8391
20/8/2024 3:25	39.3154	39.1698		4 40.3618	46.1026
20/8/2024 3:45	39.1760	40.3218		2 41.7578	46.3727
20/8/2024 4:05	39.1652	40.6575		15 32.5491	46.5256
20/8/2024 4:26	39.1438	41.6036		8 37.5925	46.9844
20/8/2024 4:46	39.1867	42.0003		4 40.5149	47.3129
20/8/2024 5:06	39.0794	42.5877		5 39.7565	47.3620
20/8/2024 5:26	39.1009	42.4580		13 34.0842	47.3456
20/8/2024 5:46	39.0258	42.3894		18 30.4522	47.1136
20/8/2024 6:06	39.0580	42.5420		10 36.1802	47.2810
20/8/2024 6:26	39.1223	42.7098		6 39.1012	47.5419
20/8/2024 6:47	39.0365	43.2286		4 40.4876	47.6080
20/8/2024 7:07	38.8864	44.0373		9 36.8682	47.6649
20/8/2024 7:27	38.9722	44.1441		4 40.5146	47.9546

Πίνακας 1 Μετρήσεις και προβλέψεις από το ThingSpeak

Κεφάλαιο 4 Σύνοψη συμπεράσματα και παρατηρήσεις

1. Σύνοψη

Συνοψίζοντας, στη συγκεκριμένη διπλωματική μελετήσαμε με επιτυχία, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο, το Διαδίκτυο των Αντικειμένων (IoT) και τον συνδυασμό διάφορων τεχνολογιών, όπως το cloud, τα LPWAN (συγκεκριμένα το LoRa), και τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα (αισθητήρες, μικροελεγκτές). Ο στόχος ήταν η καταγραφή ατμοσφαιρικών συνθηκών και η πρόβλεψη φαινομένων.

- 1 **Επιτυχής καταγραφή ατμοσφαιρικών μετρήσεων:** Το σύστημα κατάφερε να συλλέξει ακριβή δεδομένα για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- 2 **Επιτυχής επικοινωνία μικροελεγκτή με πύλη διασύνδεσης:** Εξασφαλίστηκε η αποτελεσματική επικοινωνία μεταξύ του μικροελεγκτή και της πύλης διασύνδεσης.
- 3 **Επιτυχής πρόβλεψη On Edge και αποστολή δεδομένων στο cloud:** Η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε με επιτυχία τοπικά (στο edge), και τα δεδομένα αποστάλθηκαν σωστά στο cloud.
- 4 **Επιτυχής πρόβλεψη στο cloud και οπτικοποίηση των δεδομένων:** Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν και οπτικοποιήθηκαν με επιτυχία στο cloud.
- 5 **Πραγματοποιήθηκε επιτυχής υλοποίηση πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης στο MATLAB/ThingSpeak για την πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας:** Ο αλγόριθμος πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης αναπτύχθηκε, εκπαιδεύτηκε και εφαρμόστηκε με επιτυχία για την πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας.

2. Συμπεράσματα

Τα δίκτυα LoRa με την τεχνολογία IoT μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά για την καταγραφή των ατμοσφαιρικών συνθηκών και τη μελέτη και επεξεργασία των δεδομένων για την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών. Συνδυάζοντας μικροελεγκτές όπως το Firy, αισθητήρες, και πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους όπως το ThingSpeak και το TTN μπορούμε να έχουμε μια ολοκληρωμένη εφαρμογή συλλογής, επεξεργασίας δεδομένων και πρόβλεψης διαφόρων φαινομένων. Στη συγκεκριμένη εργασία, αυτό περιλαμβάνει την πρόβλεψη της αντιληπτής θερμοκρασίας. Χρησιμοποιώντας κατάλληλους και εκπαιδευμένους αλγορίθμους μηχανικής μάθησης, μπορούμε να επιτύχουμε σε μεγάλο βαθμό αξιοπιστία στις προβλέψεις μας.

3. Παρατηρήσεις

- Ο κώδικας στο FiPy μετρά και στέλνει επίσης δεδομένα για πίεση και υψόμετρο, τα οποία δεν χρησιμοποιούμε στην εργασία. Αυτά χρησιμοποιήθηκαν για δοκιμές στα αρχικά στάδια της εργασίας και παρέμειναν στον κώδικα.
- Οι μετρήσεις δεν είναι αξιόπιστες, καθώς οι αισθητήρες βρίσκονται πάνω στην πλακέτα Pysense και δεν είναι ξεχωριστοί, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν σε κατάλληλο σημείο. Επίσης, το γεγονός ότι βρίσκονται πάνω στην πλακέτα επηρεάζει τις μετρήσεις, καθώς η πλακέτα μπορεί να ζεσταθεί.
- Με καλύτερους αισθητήρες, τοποθετημένους σε σωστά σημεία, οι μετρήσεις θα ήταν πιο αξιόπιστες.
- Για περαιτέρω αξιοποίηση και εκπαίδευση του συστήματος, ιδανικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν αρκετοί ασύρματοι κόμβοι με αισθητήρες σε διάφορα μέρη της Ελλάδας, ώστε να υπάρχουν περισσότερα δεδομένα και οι προβλέψεις να είναι βασισμένες σε κάθε τόπο.
- Επίσης, σημαντική βελτίωση θα ήταν ο αλγόριθμος να εκπαιδεύεται με περισσότερα δεδομένα και οι προβλέψεις να ανατροφοδοτούνται ξανά στον αλγόριθμο. Δυνατή θα ήταν και η χρήση AI για καλύτερη ανάλυση των δεδομένων και μείωση του σφάλματος.
- Κατά την ανάπτυξη της εργασίας παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα, όπως οι περιορισμοί στη χρήση του ThingSpeak όσον αφορά τις δυνατότητές του να εκτελέσει κάποιες εντολές του MATLAB, με αποτέλεσμα να υπάρχει περιορισμός στους αλγόριθμους που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν.
- Επιπλέον πρόβλημα είναι η έλλειψη του αισθητήρα ταχύτητας αέρα, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, και οι μη αξιόπιστες μετρήσεις που λαμβάνουμε λόγω της θέσης των αισθητήρων.
- Σε πραγματικές συνθήκες, η τοποθέτηση ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί ο εξοπλισμός, οι αισθητήρες, η κεραία, το gateway και οι μικροελεκτές να έχουν κατάλληλες προδιαγραφές για έκθεση σε εξωτερικό χώρο, δηλαδή να είναι αδιάβροχοι και να αντέχουν σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.
- Ιδανικά, θα πρέπει να τοποθετηθούν πολλοί κόμβοι σε διάφορα σημεία για περισσότερες και πιο αξιόπιστες μετρήσεις, προκειμένου να επιτευχθεί καλύτερη εκπαίδευση των αλγορίθμων. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλοι αλγόριθμοι για να βρεθεί ο καταλληλότερος με μεγαλύτερη αξιοπιστία.

Παράρτημα

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές γλώσσες προγραμματισμού για την επίτευξη στόχου. Χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα MicroPython για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκες τις MicroPython και τη βιβλιοθήκη του Pycom. Χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα MatLab για την υλοποίηση της πρόβλεψης στο ThingSpeak καθώς κα στο Matlab για την εκπαίδευση του μοντέλου.

Τέλος χρησιμοποιήθηκε JavaScript για τον προγραμματισμό ενός payload formatter για το TTN για την μετατροπή του payload σε πραγματικά δεδομένα.

Pycom Firmware.

```
# Libraries.
from network import LoRa
import socket
import ubinascii
import time
import pycom
from pycoproc_1 import Pycoproc
import struct

# Sensor Libraries.
from SI7006A20 import SI7006A20
from MPL3115A2 import MPL3115A2, ALTITUDE, PRESSURE

# LoRa setup.
lora = LoRa(mode=LoRa.LORAWAN, region=LoRa.EU868)

# Credentials.
app_eui = ubinascii.unhexlify('0F56F9D0C2FCB92E')
app_key = ubinascii.unhexlify('E8EA6C371DD1D8D0B29A4F2091A6D876')

# Lora connection.
lora.join(activation=LoRa.OTAA, auth=(app_eui, app_key), timeout=0)

while not lora.has_joined():
    time.sleep(2.5)
    print('Not yet joined...')

print('Joined')

#Sensors.
py = Pycoproc(Pycoproc.PYSENSE)
#Altiude and pressure measurments not used in Thesis only for test purpose.
mp = MPL3115A2(py, mode=ALTITUDE)
```

```
altitude = mp.altitude()
print(round(altitude, 2))

mpp = MPL3115A2(py, mode=PRESSURE)
pressure = mpp.pressure()
print(pressure)

si = SI7006A20(py)
temp = si.temperature()
hum = si.humidity()

#Open socket.
s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
s.setsockopt(socket.SOL_LORA, socket.SO_DR, 5)
s.setblocking(True)
s.bind(2)

# Function to convert and send float data over LoRa.
def send_float_data(data1,data2,data3,data4,data5,data6):
    try:

        # Convert float to bytes.
        data_bytes = struct.pack('>f', data1) + struct.pack('>f', data2) +
struct.pack('>f', data3) + struct.pack('>f', data4) + struct.pack('>f', data5) +
struct.pack('>f', data6)

        # Send data over LoRa.
        s.send(data_bytes)
        print("Data sent successfully")
    except Exception as e:
        print("Error sending data:", e)
def calculate_heat_index(temperature_f, humidity):

    # Coefficients for the empirical formula.
    c1 = -42.379
    c2 = 2.04901523
    c3 = 10.14333127
    c4 = -0.22475541
    c5 = -6.83783e-3
    c6 = -5.481717e-2
    c7 = 1.22874e-3
    c8 = 8.5282e-4
    c9 = -1.99e-6
```



```
# Calculate heat index.
heat_index = (c1 + (c2 * temperature_f) + (c3 * humidity) +
              (c4 * temperature_f * humidity) + (c5 * temperature_f ** 2) +
              (c6 * humidity ** 2) + (c7 * temperature_f ** 2 * humidity) +
              (c8 * temperature_f * humidity ** 2) + (c9 * temperature_f ** 2
* humidity ** 2))
heat_indexC= (heat_index - 32) * 5/9

return heat_indexC

#Funcctions that measures data from sensosr and send them to TTN.
def gather_and_send_data():
    wind_speed_list = [0, 4, 5, 13, 18, 16, 2, 4, 5, 4,
                      2, 15, 8, 4, 5, 13, 18, 10, 6, 4,
                      9, 4, 2, 15, 10, 6, 7, 0, 1, 4,
                      2, 8, 13, 5, 9, 3, 10, 16, 8, 6] # Predefined wind speed
list.

    for i in range(40):
        # Gather sensor data.
        #Altitude and pressure measurments not used in Thesis only for test
purpose.
        mp = MPL3115A2(py, mode=ALTITUDE)
        altitude = mp.altitude()
        mpp = MPL3115A2(py, mode=PRESSURE)
        pressure = mpp.pressure()
        si = SI7006A20(py)
        temp = si.temperature()
        hum = si.humidity()
        #Convert temperature from C to F for heat index formula.
        tempF=(temp * 9/5) + 32
        # Read wind speed value from the list.
        wind_speed = wind_speed_list[i % len(wind_speed_list)] # Ensure cycling
through the list.
        heat_indexC = calculate_heat_index(tempF, hum) #Calls heat index
function.

        # Print the data in serial for debugging purposes.
        print("Altitude:", round(altitude, 2))
        print("Pressure:", pressure)
        print("Temperature:", round(temp, 2))
        print("Humidity:", round(hum, 2))
        print("Wind Speed:", wind_speed)
        print("tempf",tempF)
        print("heatindex",heat_indexC)
```

```
print() # Empty line for readability.  
  
# Send data to TTN  
send_float_data(altitude, pressure, temp, hum, wind_speed,heat_indexC)  
  
# Wait for 10 minutes before next measurement  
time.sleep(1200)  
  
gather_and_send_data()
```

Matlab Code.

```
clear;  
clc;  
filename = 'greek_weather_data.csv'; % Replace with your actual CSV file name  
  
% Read the CSV file into a table  
data = readtable(filename);  
  
% Extract the columns into variables  
X1 = data.Temperature;  
X2 = data.Humidity;  
X3 = data.WindSpeed;  
Y = data.ApparentTemperature;  
  
% Combine into a matrix  
X = [X1, X2, X3];  
  
% Add a column of ones to X to account for the intercept term  
X = [ones(size(X, 1), 1), X];  
  
% Perform multiple linear regression  
b = X \ Y;  
mdl = fitlm(X, Y);  
plot(mdl);  
% Display the coefficients  
disp('Coefficients:');  
disp(b);  
  
Y_pred = X * b;  
  
% Calculate performance indicators  
% R-squared  
SS_tot = sum((Y - mean(Y)).^2);  
SS_res = sum((Y - Y_pred).^2);  
R2 = 1 - (SS_res / SS_tot);  
  
% Mean Absolute Error (MAE)  
MAE = mean(abs(Y - Y_pred));  
  
% Mean Absolute Percentage Error (MAPE)  
MAPE = mean(abs((Y - Y_pred) ./ Y)) * 100;
```

```
% Display performance indicators
fprintf('R-squared: %.4f\n', R2);
fprintf('Mean Absolute Error (MAE): %.4f\n', MAE);
fprintf('Mean Absolute Percentage Error (MAPE): %.2f%%\n', MAPE);
```

Matlab Analysis ThingSpeak Code.

```
% ThingSpeak Channel ID and API Key
readChannelID = 2365595;
readAPIKey = 'GZ9GCHMEJUXKW032';
writeChannelID = 2365595;
writeAPIKey = '4YEFJ90CODWTNGVK';

% Retrieve data from ThingSpeak
numPoints = 1;
tempData = thingSpeakRead(readChannelID, 'ReadKey', readAPIKey, 'Fields', 3,
'NumPoints', numPoints);
windData = thingSpeakRead(readChannelID, 'ReadKey', readAPIKey, 'Fields', 5,
'NumPoints', numPoints);
humidityData = thingSpeakRead(readChannelID, 'ReadKey', readAPIKey, 'Fields', 4,
'NumPoints', numPoints);

% Check if data retrieved
if isempty(tempData) || isempty(humidityData) || isempty(windData)
    error('Failed to retrieve data from ThingSpeak.');
```

```
end

% Extract the columns into variables
X1 = tempData;
X2 = humidityData;
X3 = windData;

% Regression coefficients from trained Matlab Multiple Linear Regression
algorithm
b = [0.2331; 0.9940; 0.0993; -0.7101];

% Combine predictors into a matrix
X = [X1, X2, X3];
X = [ones(size(X, 1), 1), X];

% Predict the response variable using the predefined model
Y_pred = X * b;

% Display the first few predicted values
disp('Predicted Apparent Temperature for all data points:');
disp(Y_pred);
% Send predicted value to Thingspeak channel
response = thingSpeakWrite(writeChannelID, Y_pred, 'Fields', 7, 'WriteKey',
writeAPIKey);
```

Payload Formatter Script.

```
function bytesToFloat(bytes) {
  var buffer = new ArrayBuffer(4);
  var view = new DataView(buffer);
  bytes.reverse().forEach(function (b, i) {
    view.setUint8(i, b);
  });
  return view.getFloat32(0, true);
}

function Decoder(bytes, port) {
  // Decode payload
  var altitudeBytes = bytes.slice(0, 4);
  var pressureBytes = bytes.slice(4, 8);
  var temperatureBytes = bytes.slice(8, 12);
  var humidityBytes = bytes.slice(12, 16);
  var windSpeedBytes = bytes.slice(16, 20);
  var heat_indexCBytes = bytes.slice(20, 24);
  // Convert bytes to floats
  var altitude = bytesToFloat(altitudeBytes);
  var pressure = bytesToFloat(pressureBytes);
  var temperature = bytesToFloat(temperatureBytes);
  var humidity = bytesToFloat(humidityBytes);
  var windSpeed = bytesToFloat(windSpeedBytes);
  var heat_indexC = bytesToFloat(heat_indexCBytes);
  // Send data values to back TTN
  return {
    field1: altitude,
    field2: pressure,
    field3: temperature,
    field4: humidity,
    field5: windSpeed,
    field6: heat_indexC,
  };
}
```

Βιβλιοθήκες κώδικα

Για την υλοποίηση της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες κώδικα για την επικοινωνία του μικροελεγκτή με τους αισθητήρες καθώς και βιβλιοθήκες της MicroPython για στην συγγραφή του υπόλοιπου κώδικα. Όπως βιβλιοθήκες δικτύου για την επικοινωνία με το Lora, όπως η βιβλιοθήκες της Pycom για τις βασικές λειτουργίες του Firy.

Βιβλιοθήκη Pycom και Pycorgoc για την χρήση βασικών εντολών της πλακέτα Pycom Firy.

Βιβλιοθήκη για το αισθητήρα θερμοκρασίας/υγρασίας SI7006A20.

Βιβλιοθήκη για τον αισθητήρα πίεσης και υψομέτρου MPL3115A2.

Βιβλιοθήκες από την MicroPython για βασικές λειτουργίες στο κώδικα όπως οι network και οι socket για την σύνδεση και την επικοινωνία με το Lora gateway. Όπως οι ubinascii, struct και time για μετατροπές δεδομένων και διαχείριση δεδομένων και μέτρηση χρόνου.

Μετρήσεις εκπαίδευσης μοντέλου.

Temperature	Humidity	WindSpeed	ApparentTemperature
34.44171059	68.6590878 1	8.457713782	36.25136915
37.17375811	52.7165629 6	1.884586778	41.2396231
13.80960449	78.6948275 61.9695353	11.97047338	13.69811872
37.40127568	3 9.418485127		37.88925952
28.97077739	51.0436262 1	13.91898627	24.51210732
12.92621215	86.3400937 2	13.997757	12.31264615
18.35494657	82.5565686 9	12.77061517	18.3541371
26.40644558	63.0093805 7	0.672076721	33.40753859
38.72520506	67.3485051 6	1.376121982	44.97263078
38.94665606	65.2226822 7	6.391994704	42.40676068
14.72839245	42.4645375 6	10.61728561	11.56535476
39.11778345	48.0747798 2	13.08891416	34.71515212
38.71500845	58.2554009 1	8.152383941	40.53521443
24.56126946	43.8292896 1	16.39962446	16.95474959
34.00841407	80.6585275 6	14.36717886	32.01438666
14.25659016	41.6858573 7	19.3729866	5.783952353
22.65283848	43.5553068 6	10.62667813	19.71950321
37.47206576	40.2424828 3	6.502913636	38.34920794
33.76621989	43.6598578 7	2.112584067	37.68751837
38.78477279	56.1419210 5	12.21917317	36.13711396
29.67222097	48.6661372 85.4027785	15.57604484	22.85790477
11.07135036	3 8.469058379		14.24998344
35.47387918	55.8124434 8	1.816465716	38.40097636

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	41.0889792			
38.01979743	1	5.329429816		38.64256916
	84.2928581			
30.36205465	2	3.073134352		37.44858521
32.73220392	88.7849027	5.620106051		37.88966165
	56.3321983			
32.29397404	9	8.80170278		32.6456791
	36.6671534			
21.76681059	1	10.54285484		20.09240379
	45.4838817			
29.66433671	5	9.148487314		28.73271621
	54.5231907			
15.13560063	7	17.50743197		8.599634777
	65.6937644			
31.18138264	4	10.36104217		31.13969107
	45.7327048			
10.95498539	7	18.87245249		2.74302449
	66.1705853			
18.30768955	6	12.75418196		14.68209721
	72.6729468			
11.38514172	3	19.1538788		4.828310024
	43.3048040			
12.91395344	4	4.81414071		15.09922317
	37.0450590			
34.70373485	5	13.52244608		28.8989443
	47.8005523			
30.84485869	9	5.781291433		32.1604332
	49.1266981			
19.5129844	2	13.43616331		14.01383982
	55.4500055			
38.50666147	8	13.90280999		34.38421177
	60.4714970			
11.03338242	8	1.359855369		16.72892531
	35.1309478			
23.16233079	3	5.095803132		21.74684843
	45.7489340			
21.44675371	8	4.480800616		23.23267932
	78.0608773			
32.96550364	7	13.35665454		31.24008998
	31.7532166			
33.85599703	5	16.88784313		24.27029374
	85.7312483			
15.60617814	7	6.889248226		19.31929603
	73.8198517			
24.69293187	7	15.61039305		19.25133742
	59.3165384			
23.36758602	3	13.50664131		17.71661418

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	64.7115036			
29.3893903	6	0.134306286		34.58960294
	44.2370147			
31.28094493	9	12.04340975		26.28372736
	57.5309296			
32.64060046	9	7.73542389		31.80586438
	87.7853123			
18.28075231	6	18.31982488		12.50997834
	62.8083431			
30.39108031	2	0.023021143		36.94402791
	61.2681498			
29.65294012	5	9.248983185		27.71128315
14.87835206	43.8956632	8.486980796		13.43725067
	59.3338646			
13.56993045	4	9.218327321		13.83755446
	67.4436052			
24.95092156	9	15.40319457		20.9108191
	70.7481324			
38.79231876	5	6.449436144		41.44563546
	53.7309129			
20.2115718	4	15.6947859		14.22015591
	52.0461989			
27.55803253	1	9.427143074		24.68097616
	89.2789201			
16.71435818	9	0.715254665		25.09775335
	32.2643319			
32.53801178	7	3.517488314		34.26302837
	83.1100804			
17.65285346	9	14.43516067		17.59749398
	84.7972096			
25.17871155	6	9.469719859		26.59942237
	77.7710324			
30.97230168	2	3.054424009		34.98398538
	35.9227367			
36.72709758	2	6.822492141		35.70997424
	45.7122710			
38.77874276	3	12.14778428		35.22278678
26.4164659	50.1214104	3.834905109		28.5172229
	70.7836770			
14.15873328	8	14.7685368		9.750212944
	38.1931882			
14.47882017	4	4.856991966		16.92257721
	73.2736499			
17.72524762	1	18.34848684		9.849148316
35.22151768	36.4057117	5.381231734		34.58525459
	69.2254409			
17.62846537	2	15.31000033		12.51238364

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

34.42854478	59.6504362	3.773239536	37.11619248
	76.7431033		
17.30574906	9	5.749963461	21.2729364
37.8779087	72.9022247	1.822269274	44.03059065
	84.2232336		
20.49951298	3	11.52418761	20.14416994
	83.4553502		
15.89785751	6	13.66726487	15.45331066
	50.0497831		
17.53251574	6	10.93186229	15.50758438
	71.9247499		
28.48134028	4	8.514576837	30.36099238
24.19866547	41.8685896	12.88885563	18.93769381
	31.8324567		
20.54978521	8	12.9523526	15.71496483
	74.6444556		
34.92485884	2	13.58033508	33.54377693
	60.0013461		
27.55792273	4	12.71573421	27.16581587
	58.7953284		
26.49170825	7	18.90348226	20.20226315
	84.2833342		
37.51580991	8	4.178698449	44.17597608
	66.5919989		
18.57517056	1	14.18563405	15.35740544
	67.0599833		
32.71600687	8	4.72461154	34.82639113
	81.5665383		
32.61187283	4	2.387924956	38.72575795
	78.3293654		
21.41337541	7	12.14607881	19.98626487
	64.6032909		
27.03464922	4	9.002753939	26.62908164
	40.9753481		
12.27562869	6	9.174509873	10.50614515
	44.3959206		
11.61850356	3	13.23889504	6.234091033
	83.1907159		
25.92392659	8	15.4057103	22.56388785
	31.7204491		
33.3750169	5	7.004360269	31.23468191
	59.3940833		
38.02032053	1	13.24019197	34.53070771
	40.0756287		
13.89718625	4	8.323171799	12.4878633
	88.7208389		
27.06470983	8	16.83858305	23.19714959

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

24.08171923	72.7616683	16.65833638	20.01436807
	60.0282974		
10.35706209	5	5.128819845	12.84773802
	58.2653024		
20.11367933	7	12.26921474	18.67614471
	33.5771320		
14.86546925	5	11.64498329	9.858523661
	70.9183142		
33.82853622	5	10.81478674	33.21553828
	32.5458682		
19.33645126	5	17.39882065	9.240507815
	34.2867278		
25.85599407	8	5.29558053	24.1924978
	61.2989905		
14.96946188	5	6.36148151	16.9568322
	35.8038015		
28.05945824	5	2.384290821	29.72134576
	79.0889132		
17.88913854	3	18.79658941	13.14416133
	79.0528255		
29.62237295	2	12.9110375	27.59726785
	73.3463755		
30.67643509	4	9.589264499	33.20709983
	38.9919265		
32.44454778	5	12.78633922	27.51553369
	69.5763151		
23.51624796	7	10.89432221	23.89488719
	61.1156965		
12.51464134	5	12.94622961	9.336930072
	88.3784732		
16.86930906	9	10.87771868	17.93025137
	68.9394895		
37.40012085	6	14.42093241	34.88946901
	78.0198345		
14.57134057	2	10.44990612	15.61414651
	57.2278625		
34.77450932	2	19.87409248	25.46517584
	55.9434902		
26.15027306	3	4.373532648	27.15045621
	79.5188277		
39.8840415	2	2.115965465	45.25688068
	35.0081888		
12.34526586	9	2.19394929	12.89454693
	37.9902604		
23.28034809	6	1.27182742	26.24866553
	40.4033167		
13.19958311	9	8.091599917	11.16454392

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	53.4562681			
38.85694243	4	8.967458241		37.55733774
	79.8827845			
10.13902672	7	7.316323537		11.64491558
33.24731394	78.2018635	15.27009282		31.15800275
	33.6282707			
34.51909662	5	12.55792759		29.53078549
	53.9554662			
36.06084116	4	15.43960771		30.5590399
	61.6125498			
12.53307537	3	18.65707141		6.655560482
	55.0079680			
21.99347947	8	19.45481708		13.00192486
	69.4115934			
17.79611209	6	3.840566989		22.46357483
	67.6784015			
34.00205441	5	2.777484057		39.17409692
22.94241482	47.5190448	13.92532674		18.295845
	55.8990702			
37.31942783	1	1.876400535		40.86660721
	30.9292275			
15.45541085	4	10.50808808		11.5195122
	89.0438234			
17.9140875	6	10.60688437		18.87876915
	40.0301045			
14.36616941	9	17.22279623		5.416776361
14.08205676	36.3729807	9.697066671		9.728139975
36.07876623	52.3445844	7.869127224		36.84265125
	41.8871041			
27.39113762	5	13.42862279		21.33386787
	59.3812582			
26.49580606	8	14.82515887		21.88340683
14.34864395	50.3696048	10.40104935		10.89621783
	87.0978278			
35.59093353	9	6.954253426		39.13561212
	85.2199223			
28.66165394	9	2.999945077		31.85164683
	33.1606198			
20.52857143	6	11.72184134		14.55238524
	74.2714857			
25.3974862	3	5.242906355		27.72816416
	46.1471655			
22.05424101	8	0.889081846		25.03214951
12.27900075	55.3701369	15.09866534		7.033681511
	62.8722540			
17.19748461	7	4.855707156		19.76036722

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	86.5642190		
13.69956805	6	8.84804626	18.10675536
	55.0646462		
15.51723365	6	13.7559217	10.82277986
	88.9831479		
17.19857577	9	7.184564208	20.81766335
	48.0872969		
22.51801207	2	14.72680149	15.44866525
	72.0659253		
11.48963291	5	7.894149506	12.69293813
37.0814833	69.9803311	13.66831734	33.17371762
38.34361569	62.3475879	14.08094861	34.75200948
	71.8863312		
24.72592277	1	8.846108268	26.57536688
24.67757915	69.9916748	0.391552471	31.80691337
	40.6879472		
20.13158229	6	6.617157604	18.86774648
	37.6808639		
37.00161539	8	8.486189937	33.19882594
	89.9448236		
21.07740343	9	5.405408469	27.74811306
	40.2672639		
13.33608266	8	3.941075962	16.65409862
	31.9560492		
33.40756205	3	16.4344237	25.21957098
	63.6719875		
21.69216511	6	8.598428188	21.05056253
	82.9119900		
17.25073858	3	17.75541909	14.31091569
	70.1505182		
22.11736437	7	7.823659909	23.06319804
	41.4259960		
12.89363576	3	15.38228775	5.798824571
	52.1349927		
13.95919878	6	7.93583034	14.50399419
	57.6435562		
38.26151772	4	16.17028192	31.3214562
	88.8982770		
38.68403621	6	15.10154198	35.04603057
	39.3842971		
27.25625785	3	7.547910897	26.33183364
	81.3313683		
11.79338629	5	4.320378319	17.3029963
	68.6858722		
17.0433974	1	15.80814436	12.94142573
	52.5763326		
20.59475714	2	18.98607824	13.05882002

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	41.4554217		
34.63582121	1	6.551308682	35.2776879
	55.6951795		
10.46210313	8	13.42528741	7.604367689
	58.9213236		
11.29071405	6	8.772899652	10.47324709
15.06970088	37.2366968	16.67001191	7.934334299
	65.3704490		
29.47346425	8	15.37708505	25.41979699
	43.5712607		
31.95167157	9	3.34507091	33.46170544
	53.0771474		
29.43237889	6	17.23960957	21.47906115
	64.9791829		
23.52771119	6	19.79744307	16.81439028
	45.1083673		
26.41026677	5	10.28846913	23.36555251
	47.4264398		
18.88962417	6	17.68562046	11.29876836
	67.0254530		
32.34078421	6	11.76052111	30.01801724
	45.9168545		
15.66865045	9	3.095046973	16.54328855
30.603263	79.462576	3.997256457	35.92302744
	88.9598039		
15.50533467	8	8.139096743	18.64180823
	73.8149275		
21.05453789	4	14.97411436	19.15317847
	50.6326202		
28.76855682	5	16.51167632	23.0753495
33.40682305	65.04416	15.7992606	29.90506121
	36.4661409		
12.43377307	1	6.370484908	10.87217097
	84.3784890		
37.88157913	4	10.68128255	37.90620375
	82.7792234		
33.27138036	7	1.799013575	39.02090643
	79.0656335		
24.60374897	6	2.234114884	31.44441253
	45.6436799		
23.07575766	4	2.725850979	28.52111109
	65.6613750		
23.40351248	4	13.5730461	21.19608976
	31.3507555		
19.19048416	6	9.903540382	14.62001735
	55.5155592		
25.25525966	1	3.79420812	28.98750365

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

	48.7631332			
25.32314693	1	9.9001165		22.14104839
	39.6890846			
34.52883125	6	2.95216444		35.00675452
	40.7259712			
33.84494251	1	1.099482938		37.86534389

Πίνακας 2 Μετρήσεις εκπαίδευσης μοντέλου.

Βιβλιογραφία

- [1] Afra M P “Predicting Apparent Temperature using Linear regression”(Αυγουστος 2024)
<https://medium.com/@afra.p245/predicting-apparent-temperature-using-logistic-regression-1b85119df229>
- [2] Bangun M Sagala “Temperature Regression model”(Αυγουστος 2024)
<https://bravo-sierra.medium.com/temperature-regression-model-43f5dfb50748>
- [3] Ben Lutkevich IoT basics and fundamentals: A guide for beginners (Αυγουστος 2024)
<https://www.techtarget.com/whatis/feature/IoT-basics-A-guide-for-beginners>
- [4] Bharat S. Chaudhari, Marco Zennaro, Suresh R. Borkar “LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations” future internet MDPI DOI:10.3390/fi12030046
- [5] Chibuikie Chiedozi Ibebuchi, Cameron C. Lee, Alindomar Silva, Scott C. Sheridan “Evaluating Apparent Temperature in the Contiguous United States From Four Reanalysis Products Using Artificial Neural Networks” Journal of Geophysical Research: Machine Learning and Computation doi: 10.1029/2023JH000102
- [6] Diedemise, Precious “Optimal Model Selection: Comparative Analysis of Linear Regression Models for Apparent Temperature ” Zenodo doi:10.5281/zenodo.11397891
- [7] Elena Abyzova, Elizaveta Dogadina, Raul D. Rodriguez, Ilia Petrov, Yuliana Kolesnikova, Mo Zhou, Chaozong Liu and Evgeniya Sheremeta “Beyond Tissue replacement: The Emerging role of smart implants in healthcare” ELSAVIER doi: 10.1016/j.mtbio.2023.100784
- [8] Eyimofe A. Pinnick “Apparent Temperature Prediction using Linear Reg” (Αυγουστος 2024)
<https://www.kaggle.com/code/eyimofeapinnick/apparent-temperature-prediction-using-linear-reg>
- [9] E. Linacre and B. Geerts “Apparent temperature” (Αυγουστος 2024)
<http://www-das.uwyo.edu/~geerts/cwx/notes/chap05/apparentt.html>
- [10] John Terra “Real-World IoT Applications in 2024”
<https://www.simplilearn.com/iot-applications-article> (Αυγουστος 2024)
- [11] Kavita Mali “Linear Regression: A Comprehensive Guide” (Αυγουστος 2024)
<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/10/w/>
- [12] Kalpanileo Machine Learning Approach for Apparent Temperature Prediction (Αυγουστος 2024)
<https://medium.com/analytics-vidhya/machine-learning-approach-for-apparent-temperature-prediction-6751e750f9d5>
- [13] Kinza Yasar, Alexander S. Gillis What is the internet of things (IoT)? (Ανακτήθηκε Αύγουστο 2024)
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT>

- [14] Kinza Yasar, Wesley Chai and Stephen J. Bigelow “What is cloud computing? Types, examples and benefits” (Αυγούστος 2024)
<https://www.techtarget.com/searchcloudcomputing/definition/cloud-computing#:~:text=Examples%20of%20cloud%20computing%20capabilities,from%20anywhere%20on%20any%20device.>
- [15] Manusha Priyanjalee “Understanding the Process of Building a Machine Learning Model for a Real World Scenario”
<https://towardsdatascience.com/understanding-the-process-of-building-a-machine-learning-model-for-a-real-world-scenario-30a50fc12f7f>
- [16] Mrs. Sarika A. Korade, Dr. Vinit Kotak, Mrs. Asha Durafe “A Review Paper on Internet of Things (IoT) and it’s Applications” International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395-0056 Volume:06 Issue: 06
- [17] Paulina Kaczor “The analysis of atmospheric factors affecting the value of vertical refraction angle with the assessment of the importance of introduction of the atmospheric amendment” E3S Web Conf. doi:10.1051/e3sconf/20187100019
- [18] Rebecca Bevans “Multiple Linear Regression | A Quick Guide” (Αυγούστος 2024)
<https://www.scribbr.com/statistics/multiple-linear-regression/#:~:text=Multiple%20linear%20regression%20is%20a,variables%20using%20a%20straight%20line>
- [19] Robert G. Steadman “A Universal Scale of Apparent Temperature”
Journal of Applied Meteorology and Climatology
doi:10.1175/1520-0450(1984)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2
p: 1674–1687
- [20] Sharon Shea “LPWAN (low-power wide area network)” (Αύγουστος 2024)
<https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>
- [21] Stephanie Susnjara, Ian Smalley “What is cloud computing?”
<https://www.ibm.com/topics/cloud-computing> (Αυγούστος 2024)
- [22] Tomás Domínguez-Bolaño, Omar Campos, Valentín Barral, Carlos J. Escudero, José A. García-Naya “An overview of IoT architectures, technologies, and existing open-source projects” ELSEVIER doi: 10.1016/j.iot.2022.100626
- [23] Vicky Bonilla, Brandon Campoverde and Sang Guun Yoo “A Systematic Literature Review of LoRaWAN: Sensors and Applications” doi:10.3390/s23208440
- [24] Δ.Ζιακόπουλος,Π.Φραγκουλη Το εγχειρίδιο του μετεωρολόγου-προγνώστη. ISBN 978-618-82094-0-4
http://www.emy.gr/emy/en/meteorology/components/HNMS_MeteorologistBook.pdf
- [25] ”Accelerometer Datasheet”
<https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis2hh12.html> (Αυγούστος 2024)
- [26] ”Anemometer”
<https://www.adafruit.com/product/1733>(Αυγούστος 2024)
- [27] Architecture of internet of things iot(Αυγούστος 2024)

<https://www.geeksforgeeks.org/architecture-of-internet-of-things-iot/>

[28] "Atmospheric Condition" (Αυγούστος 2024)

<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/atmospheric-condition#:~:text=Atmospheric%20condition%20refers%20to%20the,in%20a%20specific%20geographic%20location.>

[29] "FiPy"

<https://docs.pycom.io/datasheets/development/fipy/> (Αυγούστος 2024)

[30] "Humidity Temperature Sensor"

<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7006-A20.pdf>(Αυγούστος 2024)

[31] "IoT Architecture"

<https://www.mongodb.com/resources/basics/cloud-explained/iot-architecture> (Αυγούστος 2024)

[32] "IoT Medical"

<https://www.imec-int.com/en/imec-magazine/imec-magazine-april-2020/the-medical-implants-of-the-future-faster-smarter-and-more-connected> (Αυγούστος 2024)

[33] "Light Sensor Datasheet"

https://www.mouser.com/datasheet/2/239/Lite-On_LTR-329ALS-01%20DS_ver1.1-348647.pdf?srltid=AfmBOoB9tCC6vxQL2qPn8oLDYw5jfZzWNRPP-m4aS8f0arIyeC4A5dI(Αυγούστος 2024)

[34] "Lora"

<https://lora-alliance.org/about-lorawan/> (Αυγούστος 2024)

[35] "LoRaWan"

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/> (Αυγούστος 2024)

[36] "Lora Bandwidth "

<https://www.cdebyte.com/news/572> (Αυγούστος 2024)

[37]"Lorix One"

<https://iot.wifx.net/en/products/lorix-one/> (Αυγούστος 2024)

[38] "LPWAN"

<https://telematics.upatras.gr/telematics/research-areas/lpwan-low-power-wide-area-network> (Αυγούστος 2024)

[39] "Matlab Linear Regression"

<https://www.mathworks.com/help/stats/multiple-linear-regression-1.html>

[40] "Micropython"

<https://micropython.org/> (Αυγούστος 2024)

[41] "Pressure Sensor Datasheet"

<https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPL3115A2.pdf>(Αυγούστος 2024)

[42] "Pysense"

<https://docs.pycom.io/datasheets/expansionboards/pysense/> (Αυγούστος 2024)

[43] What is the heat index (Αυγούστος 2024)

<https://www.weather.gov/ama/heatindex#:~:text=The%20heat%20index%2C%20also%20known,for%20the%20human%20body's%20comfort.>

[44] What is Apparent Temperature? (Αυγустος 2024)

https://meteor.geol.iastate.edu/~ckarsten/bufkit/apparent_temperature.html

[45] [Γραμμική Παλινδρόμηση] Αυγустος 2024)

<https://openclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BA->

[Κ117/3%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%AE%20%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7.pdf](https://openclass.teiwm.gr/modules/document/file.php/BA-K117/3%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%AE%20%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CE%B4%CF%81%CF%8C%CE%BC%CE%B7%CF%83%CE%B7.pdf)

Πηγές εικόνων

Εικόνα 1: <https://www.cleo.com/sites/default/files/internet-of-things-iot.jpg>

Εικόνα 3: <https://www.deepseadev.com/wp-content/uploads/2023/02/IoT-architecture-layers.jpg>

Εικόνα 4: https://www.mdpi.com/sensors/sensors-22-00634/article_deploy/html/images/sensors-22-00634-g001-550.jpg

Εικόνα 5: <https://vitality.io/wp-content/uploads/2023/02/IoT-in-Agriculture.png>

Εικόνα 6: <https://www.firstpoint-mg.com/wp-content/uploads/2023/07/Picture2.png>

Εικόνα 7: <https://www.scnsoft.com/blog-pictures/internet-of-things/technologies-that-enable-smart-supply-chain-management-1.png>

Εικόνα 8:

<https://www.thethingsnetwork.org/docs/lorawan/what-is-lorawan/bandwidth-vs-range.png>

Εικόνα 9:

https://il.farnell.com/wcsstore/ExtendedSitesCatalogAssetStore/cms/asset/images/common/campaign/internet_of_things/architecture-lora.jpg

Εικόνα 10: http://www.emy.gr/emv/en/meteorology/components/HNMS_MeteorologistBook.pdf

Τύπος Αντιληπτής Θερμοκρασίας σελ.60

Εικόνα 11: <https://www.thethingsindustries.com/docs/gateways/models/wifx-lorix-one/lorix-one.png>

Εικόνα 12: <https://www.hellasdigital.gr/images/detailed/11/fipySide-800x800.png>

Εικόνα 13:

https://docs.pycom.io/gitbook/assets/specsheets/Pycom_002_Specsheets_FiPy_v2.pdf

Εικόνα 14: <https://docs.pycom.io/gitbook/assets/fipy-pinout.png>

Εικόνα 15: <https://docs.pycom.io/gitbook/assets/pysense-pinout-1.png>

Εικόνα 16: <https://cdn-shop.adafruit.com/970x728/3507-00.jpg>

Εικόνα 17: Ένωση εικόνων από το Datasheet

<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7006-A20.pdf>

Εικόνα 18: Ένωση εικόνων από το Datasheet <https://www.nxp.com/docs/en/datasheet/MPL3115A2.pdf>

Εικόνα 19: Ένωση εικόνων από το Datasheet

Δίκτυο αισθητήρων για την παρακολούθηση ατμοσφαιρικών συνθηκών

https://www.mouser.com/datasheet/2/239/Lite-On_LTR-329ALS-01%20DS_ver1.1-348647.pdf?srltid=AfmBOooB9tCC6vxQL2qPn8oLDYw5jfZzWnrPP-m4aS8f0arIyeC4A5dl

Εικόνα 20: Ένωση εικόνων από το Datasheet

<https://www.st.com/en/mems-and-sensors/lis2hh12.html>

Εικόνα 21: <https://cdn-shop.adafruit.com/970x728/1733-00.jpg>

Εικόνα 33: http://www.emy.gr/emv/en/meteorology/components/HNMS_MeteorologistBook.pdf

Πίνακας Αντιληπτής Θερμοκρασίας σελ.60