

Ατομική Διπλωματική Εργασία

**SMART CITIES PLATFORM USING LORAWAN AND THE
THINGS NETWORK**

Γεώργιος Προκόπη

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Μάιος 2020

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Smart Cities platform using LoRaWAN and The Things Network

Γεώργιος Προκόπη

Επιβλέπων Καθηγητής

κ. Αντρέας Πιτσιλλίδης

Η Ατομική Διπλωματική Εργασία υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων απόκτησης του πτυχίου Πληροφορικής του Τμήματος Πληροφορικής του Πανεπιστημίου Κύπρου

Μάιος 2020

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου Δρ. Ανδρέα Πιτσιλλίδη ο οποίος μου έδειξε εμπιστοσύνη και με επέλεξε για την παρούσα διπλωματική εργασία και ήταν παρών καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά που μου πρόσφερε.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου από τους οποίους έλαβα σημαντικές γνώσεις και με βοήθησαν στο να εξελιχθώ σε αυτό που είμαι σήμερα μέσα από τα 4 χρόνια σπουδών μου στο Τμήμα Πληροφορικής του Πανεπιστήμιο Κύπρου.

Τέλος, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την κατανόηση και την στήριξη που μου πρόσφεραν όλα αυτά τα χρόνια

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας. Στις μέρες μας έχει μπει για τα καλά ο όρος Internet of Things, όπου εκατομμύρια συσκευές είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο, συλλέγουν και ανταλλάζουν πληροφορίες. Ο σκοπός των IoT εφαρμογών είναι να πετύχουν μια πλήρη αυτοματοποίηση, να διευκολύνουν την ζωή των ανθρώπων, να εξοικονομήσουν πόρους και να προστατέψουν το περιβάλλον.

Για εξέλιξη των IoT εφαρμογών χρειάζεται οι IoT συσκευές να είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο και εκεί προκύπτει το πρόβλημα από τα υπάρχον δίκτυα αφού αδυνατούν να υποστηρίξουν τις ανάγκες των IoT συσκευών. Το κυριότερο πρόβλημα είναι πως οι συσκευές πολλές φορές είναι τοποθετημένες σε δυσπρόσιτα σημεία με αποτέλεσμα να υπάρχουν προβλήματα κάλυψης. Επιπλέον, προκαλείτε ταχεία αποστράγγιση των μπαταριών των συσκευών αφού τα παραδοσιακά δίκτυα δεν έχουν σχεδιαστή για εξοικονόμηση ενέργειας σε IoT συσκευές. Μετά από έρευνες έχουν αναπτυχθεί καινούργιες τεχνολογίες ειδικά για την υποστήριξη IoT συσκευών. Μετά από μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέγηκε να γίνει χρήση της τεχνολογίας LoRaWAN η οποία καλύπτει τις απαιτήσεις που τέθηκαν. Η LoRaWAN είναι μια νέα τεχνολογία ασύρματων δικτύων η οποία χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένο (ελεύθερο) φάσμα συχνοτήτων και είναι ιδανική για IoT συσκευές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να δημιουργήσει μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη εφαρμογών έξυπνης πόλης, η οποία θα υποστηρίζει τόσο τους πολίτες μιας πόλης όσο και τους εργαζόμενους του δήμου. Σκοπός είναι να παρέχει πληροφορίες για θέματα όπως ο καιρός, η ύπαρξη πυρκαγιάς ή διαρροής αερίων και η πληρότητα των κάδων απορριμμάτων. Τα θέματα αυτά επιλέγηκαν γιατί θεωρήθηκαν τα κύρια θέματα που απασχολούν τους κατοίκους της πόλης, θα βελτιώσουν την ποιότητα ζωής και θα προστατέψουν περιουσίες και το περιβάλλον.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1	Εισαγωγή.....	1
1.1	Γενική Εισαγωγή	1
1.2	Περιγραφή και Κίνητρο	2
1.3	Στόχος της Εργασίας και Συνεισφορά	3
1.4	Δομή Εργασίας	4
Κεφάλαιο 2	Background.....	5
2.1	Internet of Things	5
2.2	Smart City	7
2.3	Συνδεσιμότητα IoT συσκευών	8
2.3.1	Licensed vs unlicensed spectrum	10
2.3.2	Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT	12
2.3.3	Σύγκριση Τεχνολογιών Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT	14
2.3.4	Σύγκριση Κόστους LoRaWAN vs NB-IoT	16
2.3.5	Επιλογή LoRaWAN για την διπλωματική	17
2.3.6	Βασικά χαρακτηριστικά LoRaWAN	17
2.3.7	Τρόπος Λειτουργίας LoRaWAN	20
2.4	Fuzzy Logic	21
2.4.1	Αλγόριθμος	23
2.5	Πρόγνωση καιρού	23
2.5.1	Zambretti Forecaster	23
2.5.2	Αλγόριθμος Zambretti	26
2.6	Heat Index	28
2.6.1	Αλγόριθμος υπολογισμού Heat Index	29
Κεφάλαιο 3	Μεθοδολογία.....	30
3.1	Προδιαγραφές	30
3.2	Hardware	31
3.2.1	The Things Uno	32

3.2.1.1 Arduino Leonardo	32
3.2.2 The Things Gateway	34
3.3 Sensors	35
3.3.1 DHT22-Temperature and Humidity Sensor	35
3.3.2 MQ2 Gas Sensor	36
3.3.3 Ultrasonic Sensor (HC-SR04)	37
3.3.4 Barometric Sensor	38
3.3.5 Ανιχνευτής Βροχής (fr-04)	38
3.4 The Things Network	39
3.4.1 Διαχείριση των gateways	39
3.4.2 Διαχείριση των εφαρμογών	40
3.5 Web Platform	41
3.5.1 myDevices Cayenne	42
3.5.2 TagoIO	42
Κεφάλαιο 4 Υλοποίηση.....	46
4.1 Arduino	46
4.1.1 Σύνδεση στο The Things Network	46
4.1.2 Σύνδεση sensors στη συσκευή	46
4.2 Κωδικοποίηση και Αποκωδικοποίηση των δεδομένων	47
4.3 Υλοποίηση κώδικα και έλεγχος	51
4.4 Διαδικτυακή Εφαρμογή	52
4.4.1 Σύνδεση The Things Network – TagoIO	52
4.4.2 Επεξεργασία των δεδομένων για εξαγωγή αποτελεσμάτων	53
4.4.2.1 Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας και υγρασίας	53
4.4.2.2 Υπολογισμός του Heat Index	54
4.4.2.3 Χρήση fuzzy logic	54
4.4.2.3.1 Fuzzy Logic για ανίχνευση επικίνδυνων αερίων και φωτιάς	54
4.4.2.3.2 Fuzzy Logic για την κατάσταση του καιρού	56
4.4.2.4 Υπολογισμός υψομέτρου	60
4.4.2.5 Πρόγνωση του καιρού	60

4.4.2.5.1	Πρώτη προσέγγιση	60
4.4.2.5.2	Δεύτερη προσέγγιση	61
4.4.2.5.3	Τρίτη προσέγγιση- Zambretti Forecaster	62
4.4.3	Περιγραφή Διαδικτυακής Εφαρμογής	64
4.4.3.1	Home	64
4.4.3.2	Dashboard συσκευής	65
4.3.2.1	Main Tab	65
4.3.2.2	Weather Forecast Tab	68
4.3.2.3	Statistics Tab	69
Κεφάλαιο 5	Αξιολόγηση	71
5.1	Αξιολόγηση αλγορίθμων πρόγνωσης του καιρού	71
5.2	Αξιολόγηση LoRaWAN	72
5.2.1	Time on Air	73
5.3.2	Εμβέλεια	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	Συμπεράσματα και Μελλοντικά Σχέδια	76
6.1	Συμπεράσματα	76
6.1.1	Συμπεράσματα αλγορίθμων πρόβλεψης του καιρού	76
6.1.2	Συμπεράσματα LoRaWAN δικτύου	77
6.1.3	Γενικά Συμπεράσματα	77
6.2	Μελλοντικά Σχέδια	79
6.2.1	Δίκτυο	79
6.2.1.1	Gateways	79
6.2.1.2	Ανάπτυξη Ανεξάρτητου Δικτύου	79
6.2.2	Συσκευές	80
6.2.3	Αισθητήρες	80
6.2.4	Machine Learning	81
Βιβλιογραφία		82
Παράρτημα Α		A-1

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Γενική Εισαγωγή	1
1.2 Περιγραφή και Κίνητρο	2
1.3 Στόχος της Εργασίας και Συνεισφορά	3
1.4 Δομή Εργασίας	4

1.1 Γενική Εισαγωγή

Η τεχνολογική ανάπτυξη έχει βοηθήσει τον άνθρωπο να πετύχει αξιοσημείωτα πράγματα. Η εποχή που ζούμε χαρακτηρίζεται ως η εποχή της ψηφιακής επανάστασης αφού σχεδόν τα πάντα συνδέονται στο διαδίκτυο και έχουν αυτοματοποιηθεί. Έτσι έχει κάνει την εμφάνισή του ο όρος Internet of Things (IoT), όπου διάφοροι αισθητήρες και συσκευές συλλέγουν πληροφορίες, συνδέονται στο διαδίκτυο και ανταλλάσσουν πληροφορίες. Στόχος είναι να συνδεθούν δισεκατομμύρια συσκευών στο διαδίκτυο έτσι ώστε να υπάρξει πλήρης αυτοματοποίηση. Η ραγδαία διάδοση του Internet of Things έχει επιφέρει επανάσταση στα ασύρματα δίκτυα.

Τα ασύρματα δίκτυα αναπτύχθηκαν με σκοπό να επιτρέπουν στους ανθρώπους να επικοινωνούν από όποιο σημείο και αν βρίσκονται. Η διάδοση του IoT κατέστησε επιτακτική την ανάγκη δημιουργίας καινούργιων τεχνολογιών ασύρματων δικτύων που θα διευκολύνουν τις IoT συσκευές να επιτύχουν τους στόχους τους. Η έρευνα οδήγησε στη δημιουργία καινούργιων τεχνολογιών ειδικά κατασκευασμένες για την υποστήριξη IoT συσκευών, έτσι ώστε να πετυχαίνουν βέλτιστη σύνδεση στο διαδίκτυο.

Μαζί με την ανάπτυξη του IoT αναπτύχθηκαν οι όροι “Smart Home” και “Smart City” αφού με την χρήση IoT συσκευών δημιουργήθηκαν συστήματα και αναπτύχθηκαν εφαρμογές σε περιβάλλον σπιτιού ή πόλης με σκοπό την αυτοματοποίηση λειτουργιών,

την διευκόλυνση της ζωής του ανθρώπου, την εξοικονόμηση πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα η αυτόματη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του συστήματος φωτισμού σε ένα σπίτι ή η αυτόματη ρύθμιση του φωτισμού μιας πόλης.

1.2 Περιγραφή και Κίνητρο

Παρόλη την ραγδαία διάδοση των εφαρμογών smart city στο εξωτερικό, στην Κύπρο είναι ένας σχετικά καινούργιος τομέας ο οποίος τώρα αρχίζει να αναπτύσσεται. Επίσης δεν υπάρχει μια κοινή πλατφόρμα για τις smart city εφαρμογές κάθε πόλης όπου οι κάτοικοι της πόλης θα μπορούν να απευθύνονται και να ενημερώνονται εύκολα και γρήγορα. Οι προσπάθειες που γίνονται για να γίνουν οι πόλεις της Κύπρου πιο «έξυπνες» είναι μεμονωμένες και χωρίς κάποιο γενικό σχέδιο και οργάνωση. Για παράδειγμα ενώ υπάρχει σύστημα για την καταγραφή των διαθέσιμων χώρων σταθμεύσεις δεν υπάρχει μια διαδικτυακή εφαρμογή εύκολα προσβάσιμη για να γνωρίζουν οι πολίτες εκ των προτέρων τους διαθέσιμους χώρους στάθμευσης.

Έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει καθυστέρηση στην ειδοποίηση για διαρροή αερίων και πυρκαγιάς με αποτέλεσμα να καταστρέφονται περιουσίες και να τίθενται σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως σε περιοχές με πολυκοσμία πολλές φορές οι κάδοι σκουπιδιών είναι γεμάτοι με αποτέλεσμα να παρατηρείται ρύπανση της γύρω περιοχής. Θα ήταν χρήσιμο να αναπτυχθεί μια εφαρμογή που θα ενημερώνει τους εργάτες για την κατάσταση των κάδων απορριμμάτων, έτσι ώστε να εκτελούν την εργασία τους πιο αποδοτικά. Ένα άλλο πρόβλημα που παρατηρήθηκε είναι πως οι υπάρχουσες ιστοσελίδες και εφαρμογές ενημέρωσης καιρού δεν προσφέρουν ακριβής στοιχεία, ενώ δεν παρέχουν πρόβλεψη καιρού για συγκεκριμένες περιοχές, αλλά γενικότερα για μια πόλη. Για να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων και να λυθούν αυτά τα προβλήματα πρέπει να τοποθετηθούν διάφορες IoT συσκευές στα κατάλληλα σημεία της πόλης.

Η διπλωματική εργασία αρχικά θα επικεντρωθεί στην ανάλυση των νέων τεχνολογιών που αναπτύχθηκαν για την σύνδεση IoT συσκευών, με σκοπό να εντοπιστεί η κατάλληλη τεχνολογία που να καλύπτει τους στόχους και τους περιορισμούς της εφαρμογής που

αναπτύσσεται. Ακολούθως θα γίνει η επιλογή των κατάλληλων αισθητήρων και συσκευών.

Αφού επιλεγθεί η κατάλληλη τεχνολογία και οι συσκευές, είναι απαραίτητο να αναπτυχθεί μια διαδικτυακή εφαρμογή όπου οι χρήστες θα έχουν εύκολη πρόσβαση και πλήρη ενημέρωση από τα δεδομένα που συλλέγουν οι συσκευές.

1.3 Στόχος της Εργασίας και Συνεισφορά

Ο στόχος αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να αναπτυχθεί μία πλατφόρμα smart city που θα επιλύει τα προβλήματα που αναλύθηκαν και όπου μελλοντικά θα προστεθούν περισσότερες IoT εφαρμογές. Η πλατφόρμα θα πρέπει να υποστηρίζει δύο είδη χρηστών, τους απλούς χρήστες και τους εργαζόμενους του δήμου, με τις ανάλογες δυνατότητες για κάθε ομάδα.

Γενικότερα για να δημιουργηθεί το σύστημα είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν IoT συσκευές σε πολλά σημεία της πόλης. Το σύστημα υλοποιήθηκε με αυτή την λογική, όμως λόγω περιορισμένων πόρων και της έξαρσης της επιδημίας COVID-19, αναπτύχθηκαν μόνο δύο συσκευές και τοποθετήθηκαν σε δύο σημεία της πόλης. Όμως, είναι εύκολο να επεκταθεί και να προστεθούν περισσότερες συσκευές στο υπάρχον σύστημα.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε είναι ευέλικτο, μπορεί εύκολα να επεκταθεί με καινούργιες συσκευές και αισθητήρες και έχει χαμηλό κόστος. Ακόμη, μετά από έρευνα επιλέχθηκε η κατάλληλη τεχνολογία ασύρματων δικτύων για την επίτευξη των στόχων του συστήματος. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε είναι απλή και εύκολη στη χρήση, ενώ μπορεί εύκολα στο μέλλον να επεκταθεί. Γενικότερα, αναπτύχθηκε ένα σύστημα που συνεισφέρει στην ανάπτυξη μιας έξυπνης πόλης, διευκολύνει τους πολίτες της και βοηθά στην προστασία της περιουσίας των πολιτών αλλά και του περιβάλλοντος.

1.4 Δομή Εργασίας

Κεφάλαιο 1: Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια γενικότερη εισαγωγή, περιγράφεται το κίνητρο της εργασίας αυτής, οι στόχοι και η συνεισφορά της εργασίας. Τέλος αναφέρεται η δομή που θα ακολουθήσει η εργασία

Κεφάλαιο 2: Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται περιγραφή για κάποιους όρους και τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας. Αρχικά γίνεται μία γενική αναφορά για το Internet of Things και το Smart City. Στην συνέχεια αναλύονται οι τεχνολογίες που αναπτύχθηκαν για την σύνδεση IoT συσκευών και γίνεται μια σύγκριση μεταξύ τους, ενώ αναλύονται οι λόγοι για την επιλογή της LoRaWAN τεχνολογίας. Επιπρόσθετα περιγράφονται το Fuzzy Logic, διαδικασίες πρόγνωσης του καιρού και το Heat Index που είναι όροι που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια υλοποίησης της εργασίας.

Κεφάλαιο 3: Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των προδιαγραφών του συστήματος που αναπτύσσεται και αναλύονται οι επιλογές που έγιναν σχετικά με το υλικό και το λογισμικό.

Κεφάλαιο 4: Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η υλοποίηση του συστήματος. Αρχικά περιγράφεται η δημιουργία των συσκευών και η σύνδεση τους στο δίκτυο και στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικτυακή εφαρμογή που δημιουργήθηκε και η επεξεργασία που έπρεπε να γίνει στα δεδομένα.

Κεφάλαιο 5: Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η αξιολόγηση του δικτύου καθώς και των αλγορίθμων πρόγνωσης του καιρού. Αρχικά περιγράφεται ο τρόπος που έγινε η αξιολόγηση, ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα

Κεφάλαιο 6: Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα συμπεράσματα από την αξιολόγηση αλλά και γενικά από την ανάπτυξη του συστήματος. Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στα μελλοντικά σχέδια για το σύστημα που αναπτύχθηκε, περιγράφεται η επέκταση του συστήματος και αναλύονται κάποιες εναλλακτικές επιλογές.

Κεφάλαιο 2

Background

2.1 Internet of Things	5
2.2 Smart City	7
2.3 Συνδεσιμότητα IoT συσκευών	8
2.3.1 Licensed vs unlicensed spectrum	10
2.3.2 Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT	12
2.3.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT	14
2.3.4 Σύγκριση Κόστους LoRaWAN vs NB-IoT	16
2.3.5 Επιλογή LoRaWAN για την διπλωματική	17
2.3.6 Βασικά χαρακτηριστικά LoRaWAN	17
2.3.7 Τρόπος Λειτουργίας LoRaWAN	20
2.4 Fuzzy Logic	21
2.4.1 Αλγόριθμος	23
2.5 Πρόγνωση καιρού	23
2.5.1 Zambretti Forecaster	23
2.5.2 Αλγόριθμος Zambretti	26
2.6 Heat Index	28
2.6.1 Αλγόριθμος υπολογισμού Heat Index	29

2.1 Internet of Things

Ο όρος “Internet of Things” χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1999 από τον Kevin Ashton για να περιγράψει την δυνατότητα σύνδεσης διαφόρων συσκευών στο διαδίκτυο και την ανταλλαγή δεδομένων. Παρόλο που ο όρος “Internet of Things” επινοήθηκε για πρώτη φορά το 1999 η πρώτη IoT συσκευή θεωρείται ένα αυτόματο μηχάνημα πώλησης αναψυκτικών [16]. Το 1982 μία ομάδα φοιτητών από το Carnegie Mellon University

τροποποίησε ένα αυτόματο μηχανήμα πώλησης αναψυκτικών έτσι ώστε να συνδέεται στο διαδίκτυο. Με αυτό τον τρόπο μπορούσαν μέσω διαδικτύου να ελέγξουν αν το αναψυκτικό που ήθελαν υπήρχε και ήταν παγωμένο.

Σήμερα ο όρος “Internet of Things” αναφέρεται σε «Έξυπνες» συσκευές οι οποίες συνδέονται στο διαδίκτυο, επικοινωνούν μεταξύ τους και ανταλλάζουν πληροφορίες. Στόχος είναι να συνδεθούν όσο το δυνατόν περισσότερες συσκευές στο διαδίκτυο για να επιτευχθεί μια πλήρης αυτοματοποίηση, ενδεικτικά υπολογίζεται πως το 2020 50 δισεκατομμύρια συσκευές θα είναι συνδεδεμένες στο διαδίκτυο [3], ενώ ο CEO της CISCO εκτιμά πως ο κλάδος των IoT θα έχει αξία 19 τρισεκατομμύρια δολάρια μέχρι το 2024 [15].

Με την διάδοση των IoT συσκευών μπορούν να επιτευχθούν πράγματα που στο παρελθόν θεωρούνταν αδύνατο. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τις «Έξυπνες» συσκευές και τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πληθώρα εφαρμογών με σκοπό την διευκόλυνση της ζωής του ανθρώπου, την εξοικονόμηση πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος. Μερικοί από τους τομείς που μπορούν να εφαρμοστούν είναι:

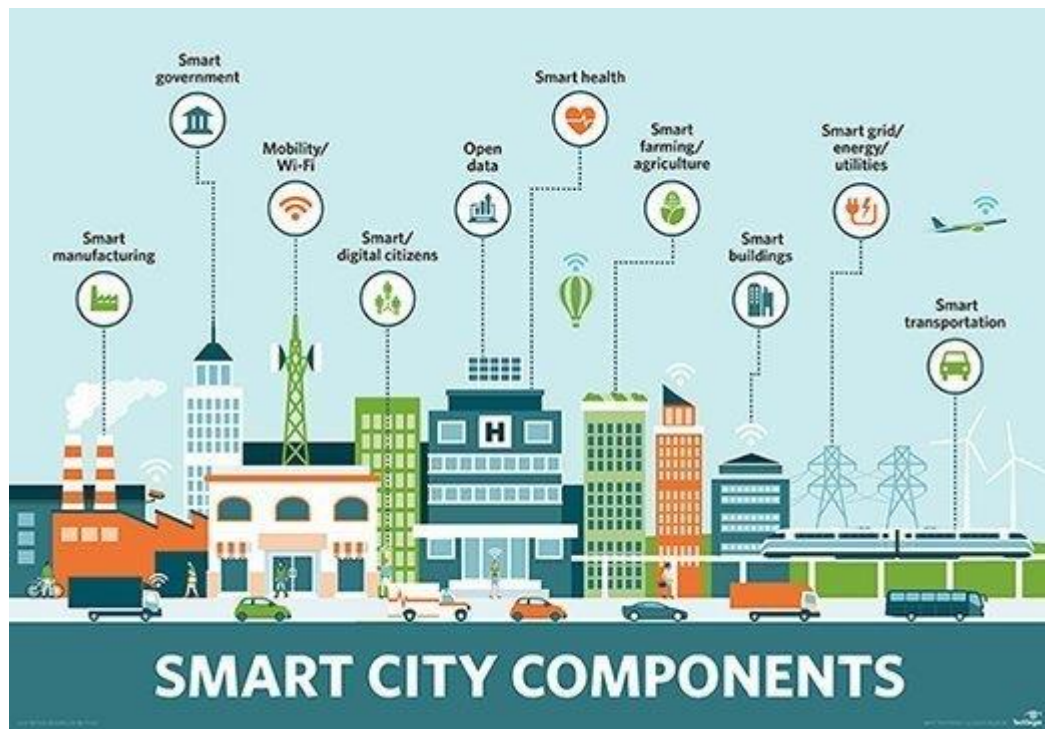
- Έξυπνα Σπίτια: όπου οικιακές συσκευές και άλλοι αισθητήρες συνδέονται στο διαδίκτυο. Για παράδειγμα έλεγχος του οικιακού φωτισμού από απόσταση, αυτόματο πότισμα του κήπου όταν χρειάζεται.
- Έξυπνα Αυτοκίνητα: με την χρήση αισθητήρων τα αυτοκίνητα συλλέγουν δεδομένα και μπορούν να προβλέψουν και να προειδοποιήσουν για τυχών ατυχήματα. Με την χρήση αυτοκινήτων που είναι συνδεδεμένα στο διαδίκτυο μπορεί να προβλεφθεί τυχών κυκλοφοριακή συμφόρηση και να γίνει χρήση εναλλακτικής διαδρομής.
- Υγεία: με την χρήση IoT συσκευών μπορεί να γίνετε αυτοματοποιημένη παρακολούθηση της υγείας και η έγκαιρη προειδοποίηση για τυχών ασθένειες ή παθήσεις, ενώ σε σοβαρές περιπτώσεις θα ειδοποιείται αυτόματα ασθενοφόρο. Επίσης οι γιατροί μπορούν με την χρήση IoT συσκευών να παρακολουθούν την κατάσταση των ασθενών και να κάνουν διάγνωση εξ αποστάσεως.

2.2 Smart City

«Έξυπνη» πόλη είναι μια πόλη η οποία χρησιμοποιεί τις σύγχρονες τεχνολογίες που προσφέρονται ώστε να παρέχει τις κατάλληλες υπηρεσίες και υποδομές με σκοπό να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των κατοίκων της, να εξοικονομήσει πόρους, να μειώσει το αποτύπωμα της στο περιβάλλον και γενικότερα να έχει μια βιώσιμη ανάπτυξη.

Οι πόλεις με την χρήση IoT αισθητήρων συλλέγουν δεδομένα τα επεξεργάζονται και χρησιμοποιούν τις πληροφορίες που εξάγουν στον τρόπο λειτουργίας της πόλης [14]. Υπάρχουν αμέτρητες εφαρμογές για smart city. Ένα πολύ καλό παράδειγμα έξυπνης πόλης είναι η Βαρκελώνη [15].

Η Βαρκελώνη έχει αναπτύξει ένα έξυπνο δίκτυο λεωφορείων και έχει μετατρέψει κάθε στάση λεωφορείου σε «έξυπνη». Κάθε στάση προβάλλει σε πραγματικό χρόνο που βρίσκετε το λεωφορείο και πότε αναμένετε να φτάσει. Επίσης έχει εγκαταστήσει έξυπνα parking έτσι οι κάτοικοι γνωρίζουν σε πραγματικό χρόνο που υπάρχουν διαθέσιμη χώροι στάθμευσης. Υπάρχουν εγκατεστημένοι στην πόλη αισθητήρες οι οποίοι προσφέρουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα για διάφορες λειτουργίες της πόλης, όπως την κίνηση στους δρόμους, την κατάσταση του καιρού και την μόλυνση του περιβάλλοντος. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα για καλύτερο συντονισμό των λειτουργιών της πόλης με αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων και την εξοικονόμηση πόρων.



Source: <https://spcleantech.com/smart-citysustainable-city-development/>

Σχήμα 2.1: Γενική απεικόνιση μιας «έξυπνης» πόλης

2.3 Συνδεσιμότητα IoT συσκευών

Ένα από τα κύρια προβλήματα που έχουν να αντιμετωπίσουν οι έξυπνες συσκευές είναι η συνδεσιμότητα. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως το Internet of Things (IoT) και κατ' επέκταση οι εφαρμογές smart city είναι βασισμένες στην συλλογή δεδομένων από αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους και συλλέγουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο[2]. Όλες οι IoT συσκευές ανεξαρτήτως του στόχου τους έχουν κάποιες κοινές απαιτήσεις όπως μεγάλη κάλυψη δικτύου, χαμηλό ρυθμό αποστολής δεδομένων (low data rate), χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μικρό κόστος[3]. Τα υφιστάμενα δίκτυα όμως δεν μπορούν να ικανοποιήσουν πλήρως τις ανάγκες των IoT συσκευών.

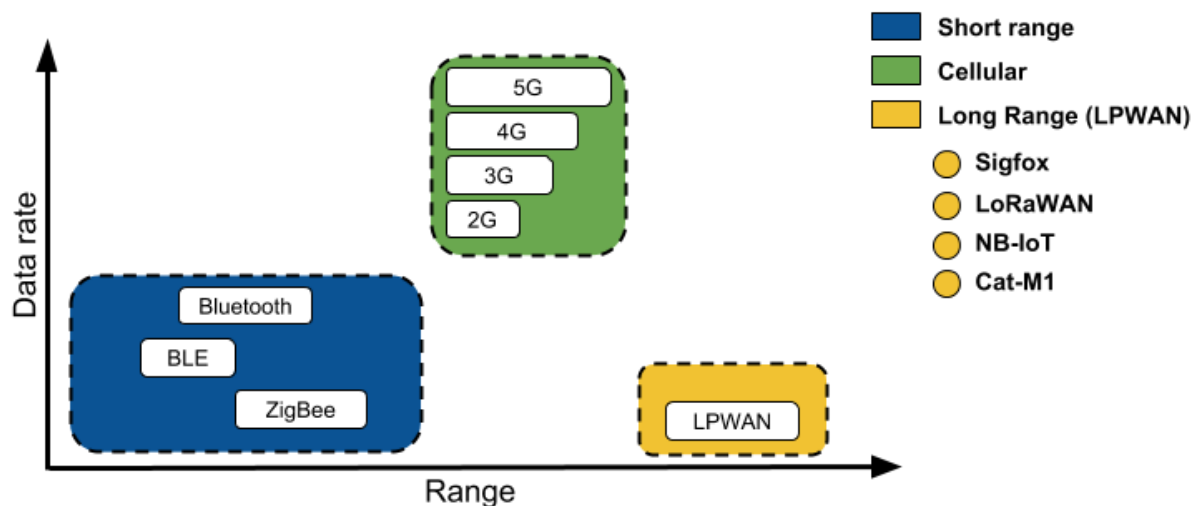
Το κυριότερο πρόβλημα στα παραδοσιακά δίκτυα είναι η υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Λόγω του ότι πολλές τέτοιες συσκευές τοποθετούνται σε δύσκολες ή/και απομονωμένες περιοχές, τις πλείστες φορές δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο και είναι αναγκασμένες να τροφοδοτούνται με μπαταρίες. Επειδή η αντικατάσταση των

μπαταριών είναι δύσκολη και κοστίζει χρειάζεται να περιοριστεί η κατανάλωση ενέργειας όσο το δυνατό περισσότερο για να έχουν μεγαλύτερη αυτονομία οι συσκευές, έτσι η χρήση των παραδοσιακών κυψελοειδών δικτύων και γενικά των παραδοσιακών δικτύων, δεν είναι εφικτή αφού δεν έχουν σχεδιαστεί με τρόπο που θα βελτιστοποιεί την αποστολή μικρού αριθμού δεδομένων και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα είναι το εύρος κάλυψης. Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία εντός της πόλης με αποτέλεσμα να απέχουν μεγάλη απόσταση ο ένας από τον άλλο, έτσι η χρήση τεχνολογιών όπως ZigBee ή Bluetooth δεν είναι εφικτή. Χρειάζεται η ανάπτυξη μιας τεχνολογίας που να έχει την δυνατότητα να συνδέει συσκευές που βρίσκονται σε απομακρυσμένα σημεία χωρίς όμως να χρειάζεται μεγάλης ισχύς που θα μείωνε την αυτονομία των αισθητήρων.

Τέλος πρέπει να υποστηρίζετε η σύνδεση μεγάλου αριθμού συσκευών. Γενικά η κάθε συσκευή πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιεί την κατάλληλη τεχνολογία έτσι ώστε να επιτυγχάνει σύνδεση με όσο το δυνατόν μικρότερη ισχύ που όμως να μην επηρεάζει τις λειτουργίες της (quality of service), έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη εξοικονόμηση μπαταρίας.

Όταν άρχισε η ανάπτυξη IoT και smart city εφαρμογών ήταν αναγκαίο να αναπτυχθούν νέες τεχνολογίες δικτύων που να επιλύουν αυτά τα προβλήματα. Έτσι αναπτύχθηκαν τα Low-Power Wide-Area Networks (LPWANs) με σκοπό να καλύψουν το κενό ανάμεσα στα δίκτυα μικρού εύρους και μεγάλου bandwidth (Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee) και των κυψελοειδών δικτύων (GSM, UMTS, LTE) που προσφέρουν μεγάλη κάλυψη αλλά και μεγάλη κατανάλωση ενέργειας[1].



Source: <https://ubidots.com/blog/exploring-cat-m1-nb-iot-lpwan-connections/>

Σχήμα 2.2: Οι διάφορες κατηγορίες δικτύων

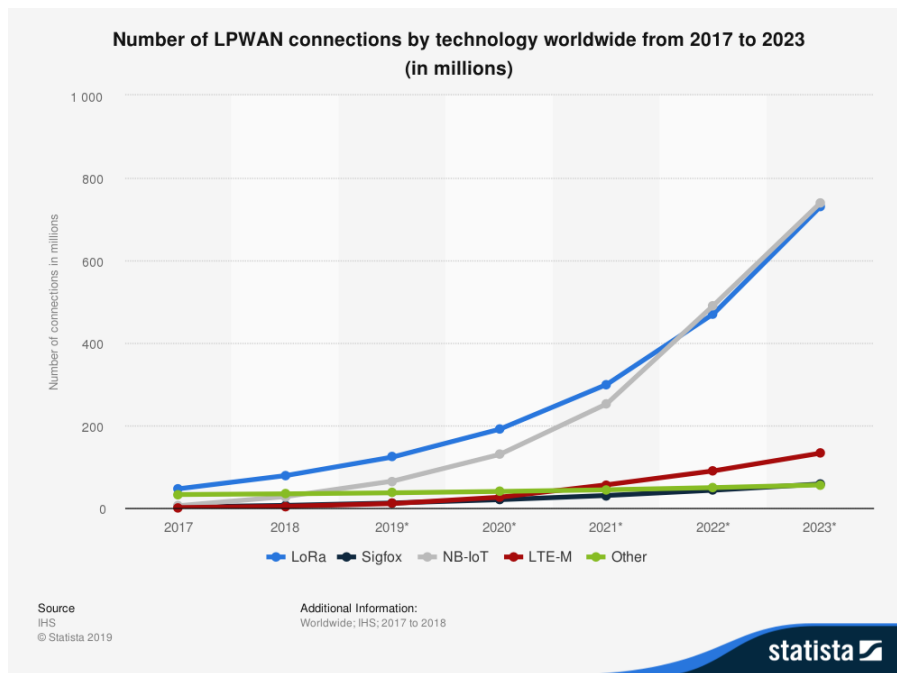
Τα LPWAN δίκτυα έχουν κατασκευαστεί ειδικά για την σύνδεση IoT συσκευών. Είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να υποστηρίζουν επικοινωνία σε μεγάλη απόσταση, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, χαμηλό ρυθμό αποστολής δεδομένων, ευκολότερη σύνδεση συσκευών και χαμηλότερα λειτουργικά κόστη. Τα LPWAN δίκτυα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιούν: τεχνολογίες που χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων-unlicensed spectrum- και τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων-licensed spectrum- για την σύνδεση των συσκευών.

2.3.1 Licensed vs unlicensed spectrum

Licensed LPWANs βασίζονται στα δημόσια δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, χρησιμοποιούν licensed radio spectrum και υποστηρίζουν τα πρωτόκολλα GSM και 3GPP. Η χρήση αδειοδοτημένου φάσματος διασφαλίζει καλύτερη ποιότητα σύνδεσης, μεγαλύτερη ασφάλεια και αποφυγή παρεμβολών από άλλα σήματα. Οι κύριες LPWAN τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα είναι: NB-IoT και LTE-M οι οποίες σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μπορούν να υποστηριχθούν από τα υπάρχον κυψελοειδή δίκτυα. Έτσι δεν χρειάζεται η ανάπτυξη εξειδικευμένων δικτύων και οι τεχνολογίες αυτές απολαμβάνουν των πλεονεκτημάτων της ευρείας διάδοσης των κυψελοειδών δικτύων.

Αντιθέτως τεχνολογίες όπως LoRaWAN και Sigfox βασίζονται στην χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος που είναι ανοικτές στην χρήση από τον καθένα. Αυτό δίνει την δυνατότητα να αναπτυχθούν εύκολα και οικονομικά private networks, αφού δεν χρειάζεται να πληρώσουν για την χρήση των συχνοτήτων, έτσι ο καθένας έχει την ευελιξία να δημιουργήσει το δικό του ιδιωτικό δίκτυο. Επίσης μπορούν να αναπτυχθούν δίκτυα σε δύσβατες ή απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει υποδομή από τους παρόχους κινητής τηλεπικοινωνίας. Η χρήση όμως ελεύθερων συχνοτήτων διατρέχει των κίνδυνο παρεμβολών αφού η χρήση τους δεν ελέγχεται, με αποτέλεσμα αν κάποιες άλλες συσκευές εκπέμπουν στις ίδιες ή κοντινές συχνότητες να δημιουργούνται παρεμβολές, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η ποιότητα του σήματος.

Όλα τα δίκτυα που βρίσκονται στην κατηγορία των LPWAN έχουν κάποια κοινά βασικά χαρακτηριστικά, όμως αναλόγως της σχεδίασης διαφέρουν σε κάποια χαρακτηριστικά που τα κάνουν κατάλληλα για διαφορετικό είδος εφαρμογών. Για αυτό είναι αναγκαίο πριν την ανάπτυξη μίας εφαρμογής η μελέτη των διαθέσιμων τεχνολογιών και η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας που θα βοηθήσει στην καλύτερη επίτευξη των στόχων της εφαρμογής. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν οι τρεις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες LPWAN δικτύων: Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT. Ενώ σύμφωνα με το Statista μέχρι το 2023 οι συνδέσεις LoRaWAN και NB-IoT θα αντιστοιχούν στο 85.5% όλων των συνδέσεων LPWAN [6]. Η τεχνολογία LTE-M απορρίφθηκε αφού απευθύνεται σε άλλο είδος εφαρμογών από την εφαρμογή που θέλουμε να αναπτύξουμε, είναι καλύτερη για εφαρμογές που στέλνουν μεγαλύτερο όγκο δεδομένων και χρειάζονται μεγαλύτερο Data Rate.



Source: <https://ubidots.com/blog/lorawan-vs-nb-iot/>

Σχήμα 2.3: Αριθμός LPWAN συνδέσεων μεταξύ 2017 και 2023

2.3.2 Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT

Sigfox

Η τεχνολογία Sigfox συγκαταλέγεται στην κατηγορία δικτύων που χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων. Οι συσκευές επικοινωνούν με το Base Station χρησιμοποιώντας binary phase-shift keying (BPSK) modulation με ένα πολύ μικρό εύρος ζώνης, 100 Hz. Η χρήση μικρού bandwidth της επιτρέπει να χρησιμοποιεί αποδοτικά το φάσμα συχνοτήτων με αποτέλεσμα να βιώνει πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου, να καταναλώνει ελάχιστη ενέργεια και να έχει χαμηλό κόστος, όμως το μέγιστο throughput είναι μόνο 100 bps [3]. Επίσης, υπάρχει περιορισμός στα μηνύματα για κάθε συσκευή. Συγκεκριμένα κάθε συσκευή μπορεί να στείλει(uplink) μέχρι 140 μηνύματα και να λάβει(downlink) μέχρι 4 την ημέρα. Η συσκευή μπορεί να λάβει κάποιο μήνυμα (downlink) μόνο μετά που η συσκευή θα έχει πραγματοποιήσει ένα uplink. Επίσης τα uplinks περιορίζονται σε 12 bytes payload ανά μήνυμα και τα downlinks στα 4 bytes. Όπως είναι λογικό δεν μπορούν να αποστέλλονται acknowledge messages για κάθε αποστολή δεδομένων για την επιβεβαίωση παραλαβής του μηνύματος. Για να αυξηθεί αξιοπιστία χρησιμοποιείται η εναλλακτική προσέγγιση του να στέλνεται το κάθε μήνυμα

περισσότερες φορές (εξ ορισμού τρεις φορές) σε διαφορετικά κανάλια. Στην Ευρώπη υπάρχουν 360 διαθέσιμα κανάλια συχνοτήτων, όμως επειδή κάθε συσκευή διαλέγει τυχαία σε πιο κανάλι να στείλει μπορεί να υπάρξουν παρεμβολές στην αποστολή των μηνυμάτων [3]. Χρησιμοποιείτε για εφαρμογές που αποστέλλουν μικρό αριθμό δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις και δεν χρειάζονται εγγυημένη ποιότητα σύνδεσης.

LoRaWAN

Η τεχνολογία LoRaWAN όπως και η Sigfox χρησιμοποιεί unlicensed ISM bands. Η επικοινωνία γίνεται χρησιμοποιώντας chirp spread spectrum (CSS) modulation, όπου το σήμα από ένα μικρό εύρος ζώνης (narrow-band) διανέμεται σε μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων, με αποτέλεσμα το σήμα να είναι πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές και να είναι πιο δύσκολο να υποκλαπεί. Αυξάνοντας το spreading factor επιτυγχάνεται διάδοση του σήματος σε μεγαλύτερη απόσταση. Το throughput κυμαίνεται από 300 bps μέχρι 50 kbps και εξαρτάται από το spreading factor και το bandwidth του καναλιού[3]. Οι συσκευές μπορούν να δεχτούν μήνυμα αμέσως μετά που θα έχουν αποστείλει κάποιο μήνυμα και υποστηρίζουν την λήψη acknowledge messages για την επιβεβαίωση της αποστολής των δεδομένων. Όπως και στην περίπτωση του Sigfox η χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων έχει ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της ποιότητας της σύνδεσης αφού άλλες συσκευές μπορεί να εκπέμπουν σε κοντινές συχνότητες με αποτέλεσμα να υπάρχουν παρεμβολές. Είναι ιδανικό για χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας ή για την ανάπτυξη ιδιωτικού δικτύου.

NB-IoT

Το NB-IoT είναι μια Narrow Band IoT τεχνολογία που καθορίστηκε στην 13^η έκδοση του 3GPP το 2016. Η τεχνολογία μπορεί να συνυπάρχει με δίκτυα GSM και LTE σε αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων. Χρησιμοποιεί εύρος ζώνης (frequency band width) 200 KHz το οποίο αντιστοιχεί σε ένα resource block στα δίκτυα GSM και LTE, αυτό επιτρέπει την αρμονική συνύπαρξη τους[3]. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας βασίζεται στο LTE πρωτόκολλο, χρησιμοποιεί τις βασικές λειτουργίες του LTE τις οποίες έχει βελτιστοποιήσει για να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις των IoT συσκευών. Ο ρυθμός αποστολής δεδομένων περιορίζεται στα 200 kbps για downlink και 50 kbps για uplink, ενώ το μέγιστο μέγεθος (payload) κάθε μηνύματος είναι 1600 bytes. Η χρήση αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων επιτρέπει καλύτερη ποιότητα σύνδεσης αφού

περιορίζονται οι παρεμβολές στο ελάχιστο. Επίσης η χρήση των υπαρχών δικτύων τηλεπικοινωνιών εξασφαλίζει την ευρεία γεωγραφική κάλυψη, την γρήγορη σύνδεση συσκευών στο δίκτυο και μεγαλύτερη ασφάλεια.

2.3.3 Σύγκριση Τεχνολογιών Sigfox, LoRaWAN, NB-IoT

Και οι τρεις πιο πάνω τεχνολογίες διαθέτουν κάποια κοινά χαρακτηριστικά, όπως όλες οι τεχνολογίες που ανήκουν στα LPWANs, που τις κάνουν κατάλληλες για IoT συσκευές όπως η χρήση χαμηλού εύρους ζώνης (bandwidth) και η εξοικονόμηση ενέργειας. Όπως αναφέραμε και προηγουμένως η τεχνολογίες χωρίζονται σε αυτές που χρησιμοποιούν μη αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων (LoRaWAN, Sigfox) και σε αυτές που χρησιμοποιούν αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων (NB-IoT). Η χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων έχει σαν αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος αφού δεν υπάρχει χρέωση για την χρήση των συχνοτήτων και επίσης δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης ιδιωτικού δικτύου. Όμως επειδή δεν υπάρχει έλεγχος στη χρήση των συχνοτήτων υπάρχει το πρόβλημα των παρεμβολών από συσκευές που εκπέμπουν στις ίδιες ή γειτονικές συχνότητες. Από την άλλη η χρήση τεχνολογιών που εκπέμπουν σε αδειοδοτημένο φάσμα μας προσφέρει καλύτερη ποιότητα (Quality of Service) και λιγότερες παρεμβολές όμως στοιχίζει περισσότερο. Επίσης μπορούν οι εφαρμογές να αναπτυχθούν άμεσα αφού δεν απαιτείτε η σχεδίαση και δημιουργία καινούργιου δικτύου, λόγω της χρήσης των υπαρχών κυψελοειδών δικτύων.

Η κάθε τεχνολογία έχει σχεδιαστεί με σκοπό να εξυπηρετεί συγκεκριμένο είδος εφαρμογών. Ανάλογα με την εφαρμογή που θέλουμε να αναπτύξουμε επιλέγουμε και την κατάλληλη τεχνολογία:

- Για εφαρμογές που χρειάζεται καλύτερη ποιότητα (quality of service), μεγαλύτερες ταχύτητες και άμεση ανάπτυξη των συσκευών, στο υπαρχών δίκτυο, χρησιμοποιείται αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων, π.χ. NB-IoT [3]
- Εφαρμογές που απαιτείτε η ανάπτυξη ιδιωτικού δικτύου ή η ανάπτυξη των συσκευών θα γίνει σε περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιείται τεχνολογία που χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένο φάσμα, π.χ. LoRaWAN. Αν σκοπός είναι η μεγαλύτερη κάλυψη, το ελάχιστο κόστος και η αποστολή μικρού αριθμού δεδομένων, μέγιστο 140 πακέτα την

μέρα, η τεχνολογία Sigfox είναι ιδανική. Αν χρειάζεται να αποστέλλονται περισσότερα πακέτα και να υπάρχει κρυπτογράφηση τότε κατάλληλη είναι η τεχνολογία LoRaWAN.

- Σε εφαρμογές που είναι απαραίτητη η επιβεβαίωση λήψης των πακέτων (acknowledge message) ή σε εφαρμογές που οι συσκευές χρειάζεται να λαμβάνουν συχνά μηνύματα από το Base Station (Downlink) δεν μπορεί να γίνει χρήση της τεχνολογίας Sigfox.

Πιο κάτω φαίνεται ένας συγκριτικός πίνακας των τριών τεχνολογιών:

Πίνακας 1: Συνοπτικά χαρακτηριστικά LPWAN τεχνολογιών

Technology	LoRaWAN	NB-IoT	Sigfox
Frequency	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)	Licensed LTE frequency bands	Unlicensed ISM bands (868 MHz in Europe, 915 MHz in North America, and 433 MHz in Asia)
Bandwidth	250 kHz and 125 kHz	200 kHz	100 Hz
Maximum data rate	50 kbps	200 kbps	100 bps
Maximum messages per day	Unlimited	Unlimited	140 (UL), 4 (DL)
Maximum payload length	243 bytes	1600 bytes	12 bytes (UL), 8 bytes (DL)
Interference immunity	Very high	Low	Very high
Duplex Mode	Half-duplex	Half-duplex	Half-duplex
Authentication & encryption	AES 128b	LTE encryption	Not supported
Modulation	CSS	QPSK	BPSK

2.3.4 Σύγκριση Κόστους LoRaWAN vs NB-IoT

Σημαντικός παράγοντας για την επιλογή της τεχνολογίας σύνδεσης είναι το κόστος. Το κόστος χωρίζεται στο κόστος για την αγορά των απαραίτητων συσκευών και στο χρονιαίο κόστος για χρήση της τεχνολογίας.

Το κόστος για αγορά συσκευής που υποστηρίζει LoRaWAN ή NB-IoT είναι σχεδόν το ίδιο, για αυτό το κόστος αγοράς της συσκευής δεν επηρεάζει την απόφαση για επιλογή κάποιας τεχνολογίας.

Η μεγαλύτερη διαφορά που έχουν οι δύο τεχνολογίες είναι η χρήση αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων από την NB-IoT τεχνολογία και η χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων από την LoRaWAN τεχνολογία. Αυτό έχει ως συνέπεια η τεχνολογία να μην χρειάζεται να πληρώνει για την χρήση του δικτύου, ενώ η τεχνολογία NB-IoT χρειάζεται να πληρώνει τον πάροχο κινητής τηλεφωνίας για την χρήση των συχνοτήτων του.

Για τον υπολογισμό του κόστους χρησιμοποιήθηκε η τιμή €0.20 ανά MB που είναι η μέση τιμή mobile internet στην Κύπρο, αφού οι παρόχοι δεν παρέχουν πληροφορίες για το κόστος της NB-IoT τεχνολογίας. Έγινε η υπόθεση πως κάθε συσκευή θα εκπέμπει 25Bytes κάθε μία ώρα, δηλαδή 600Bytes κάθε μέρα. Το συνολικό κόστος για ένα χρόνο ανέρχεται σε €0.04 χωρίς τον υπολογισμό άλλων χρεώσεων από τον πάροχο.

Το κόστος δεν είναι αποτρεπτικό όμως θα πρέπει να συνυπολογιστεί όταν παίρνεται η απόφαση αφού σκοπός είναι η ανάπτυξη χιλιάδων συσκευών σε όλη την Κύπρο, κάτι που αυξήσει το κόστος. Όμως από την άλλη αποφεύγεται η αγορά των gateways που χρειάζεται η τεχνολογία LoRaWAN. Όπως φαίνεται θα πρέπει να γίνει προσεκτικός έλεγχος για να διαφανεί πια επιλογή είναι πιο συμφέρουσα ανάλογα και με την περιοχή που θα γίνει η τοποθέτηση των συσκευών.

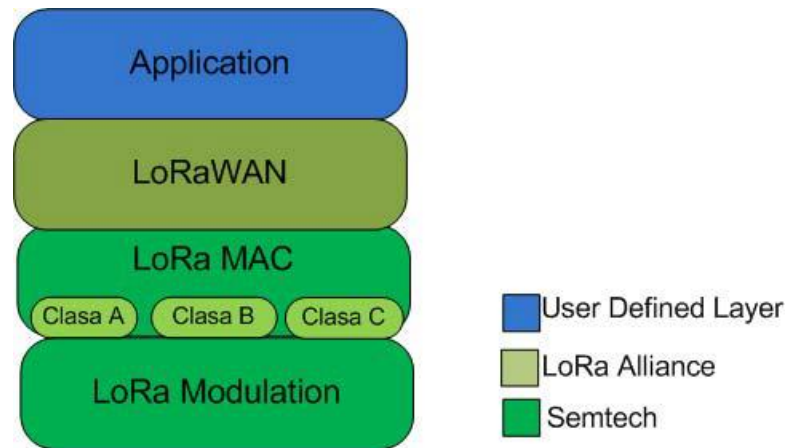
2.3.5 Επιλογή LoRaWAN για την διπλωματική

Σκοπός της εφαρμογής που αναπτύσσετε είναι η δημιουργία IoT συσκευών που αποστέλλουν μικρό αριθμό δεδομένων, τις ενδείξεις που καταγράφουν οι αισθητήρες τους, μερικές φορές τη μέρα, κάθε μια ώρα. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί μια τεχνολογία η οποία θα καλύπτει τις ανάγκες συνδεσιμότητας των συσκευών. Η χρήση LoRaWAN επιλέγηκε λόγω:

- Δίνει την δυνατότητα να αναπτυχθεί ιδιωτικό δίκτυο. Έτσι η κάθε πόλη θα μπορεί να αναπτύξει και να διαχειριστεί το δικό της δίκτυο. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν συσκευές σε περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη από κυψελοειδή δίκτυα
- Η τεχνολογία NB-IoT δεν είναι αρκετά διαδεδομένη στην Κύπρο, έτσι πολλή πάροχοι δεν την υποστηρίζουν, ενώ και αυτοί που την υποστηρίζουν δεν σου εγγυώνται την ποιότητα σύνδεσης και μπορούν ανά πάσα στιγμή να διακόψουν την υποστήριξη της τεχνολογίας. Με την χρήση LoRaWAN εξασφαλίζεις τον έλεγχο και την απρόσκοπτη λειτουργία του δικτύου σου χωρίς να βασίζεσαι σε τρίτους.
- Η τεχνολογία LoRaWAN σου επιτρέπει να στέλνεις αρκετά δεδομένα σε κάθε πακέτο, ενώ δεν έχει ούτε περιορισμό στα πόσα πακέτα μπορείς να στείλεις. Ακόμη σου επιτρέπει την αποστολή acknowledge messages για την επιβεβαίωση παράδοσης του πακέτου.
- Λόγω της χρήσης μη αδειοδοτημένου φάσματος το κόστος είναι χαμηλότερο. Το κόστος αγοράς των συσκευών είναι μικρότερο, ενώ δεν υπάρχει ούτε κόστος σύνδεσης με τις εταιρείες τηλεπικοινωνιών.

2.3.6 Βασικά χαρακτηριστικά LoRaWAN

Το LoRaWAN είναι η πιο διαδεδομένη εφαρμογή του LoRa, είναι ένα Low Power Wide Area Network (LPWAN) το οποίο δημιουργήθηκε από το LoRa Alliance τον Ιανουάριο του 2015[1]. Το LoRa είναι μια physical Layer τεχνολογία η οποία ανήκει στη Semtech.



Source [4]

Σχήμα 2.4: The LoRaWAN communication stack

Η τεχνολογία αναπτύχθηκε με σκοπό την σύνδεση IoT συσκευών. Τα βασικά χαρακτηριστικά της είναι:

- Χρήση χαμηλών συχνοτήτων που επιτρέπει στα σήματα να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση και να διεισδύσουν μέσα από εμπόδια με μικρότερη εξασθένηση
- Μεγάλη διάρκεια μπαταρίας, μεγαλύτερη από 10 χρόνια
- Ικανότητα αποστολής μεγάλου όγκου δεδομένων ή σύνδεση πολλών συσκευών σε κάθε gateway
- Χαμηλό κόστος λόγω χρήσης μη αδειοδοτημένου φάσματος
- Δυνατότητα ανάπτυξης ιδιωτικού δικτύου
- Ασφάλεια

Επεξήγηση χαρακτηριστικών

Μεγάλη εμβέλεια:

Χρήση χαμηλών συχνοτήτων που επιτρέπει στα σήματα να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση και να διεισδύσουν μέσα από εμπόδια με μικρότερη εξασθένηση. Ραδιοκύματα χαμηλής συχνότητας παράγουν ένα μεγάλο μήκος κύματος, με αποτέλεσμα να μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις καθώς και να διεισδύσουν μέσα από εμπόδια με ελάχιστη εξασθένηση.

Μεγάλη διάρκεια μπαταρίας:

Η τεχνολογία LoRaWAN αναπτύχθηκε με γνώμονα την εξοικονόμηση ενέργειας σε IoT συσκευές. Οι περισσότερες IoT συσκευές αποστέλλουν μικρό αριθμό δεδομένων σε μη τακτά χρονικά διαστήματα, έτσι η LoRaWAN σχεδιάστηκε ώστε να προσφέρει βέλτιστη εξοικονόμηση ενέργειας σε αυτές τις συσκευές. Η χρήση μικρού εύρους ζώνης (bandwidth) και μικρή ισχύς για αποστολή των δεδομένων επιτρέπει την αύξηση της ζωής της μπαταρίας. Επίσης όταν οι συσκευές δεν αποστέλλουν δεδομένα μπαίνουν σε κατάσταση εξοικονόμησης ενέργειας (sleep mode) με αποτέλεσμα να καταναλώνουν ελάχιστη ενέργεια. Η συσκευές χρησιμοποιούν την τεχνική Aloha, δηλαδή επικοινωνούν μόνο όταν έχουν να στείλουν δεδομένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη κατανάλωση ενέργειας [7].

Network Capacity:

Το κάθε gateway είναι σχεδιασμένο να δέχεται μεγάλο όγκο δεδομένων έχοντας την δυνατότητα να παραλάβει μηνύματα σε πολλά κανάλια. Ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να ενωθούν σε ένα gateway εξαρτάτε από τα πόσα δεδομένα και πόσο συχνά στέλνει η κάθε συσκευή, το spreading factor και το data rate, δηλαδή το χρόνο που βρίσκετε το μήνυμα στον αέρα [7]. Μειώνοντας το data rate ή αυξάνοντας το spreading factor το μήνυμα χρειάζεται περισσότερο χρόνο να παραδοθεί. Για αυτό το σκοπό υπάρχει η δυνατότητα adaptive data rate, δηλαδή το δίκτυο έχει την δυνατότητα να καθορίζει δυναμικά τον ρυθμό αποστολής των δεδομένων της κάθε συσκευής έτσι ώστε να είναι βέλτιστος. Σε γενικές γραμμές όσο περισσότερη ώρα βρίσκετε ένα πακέτο στον αέρα τόσο λιγότερα πακέτα μπορεί το gateway να παραλάβει.

Χαμηλό κόστος:

Δεν υπάρχουν χρεώσεις για την χρήση των συχνοτήτων, λόγω της χρήσης μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων. Επίσης τα LoRaWAN chips είναι απλά στην κατασκευή με αποτέλεσμα να έχουν μικρότερο κόστος.

Ανάπτυξη Ιδιωτικού Δικτύου:

Η χρήση μη αδειοδοτημένου φάσματος συχνοτήτων επιτρέπει στον κάθε ένα να φτιάξει το δικό του δίκτυο χωρίς να χρειάζεται να πληρώσει για την χρήση των συχνοτήτων.

Ασφάλεια:

Υπάρχουν δύο επίπεδα ασφάλειας[7]:

- Το network security διασφαλίζει την πιστοποίηση της συσκευής στο δίκτυο
- Application Layer Security διασφαλίζει πως ο διαχειριστής του δικτύου δεν έχει πρόσβαση στα δεδομένα των εφαρμογών των χρηστών.

Χρησιμοποιείται AES encryption για την κρυπτογράφηση των δεδομένων. Επίσης η δυνατότητα δημιουργίας ιδιωτικού δικτύου αυξάνει ακόμη περισσότερο την προσφερόμενη ασφάλεια.

2.3.7 Τρόπος Λειτουργίας LoRaWAN

Η LoRaWAN είναι μια τεχνολογία που χρησιμοποιεί ένα μη αδειοδοτημένο φάσμα και έχει σχεδιαστεί για την σύνδεση IoT συσκευών. Χρησιμοποιούνται μη αδειοδοτημένες ISM (industrial, scientific and medical) συχνότητες, 868 MHz στην Ευρώπη, 915 MHz στην Αμερική, 433 MHz στην Ασία. Είναι ένα star-shaped δίκτυο έτσι για να μπορεί μια συσκευή να συνδεθεί χρειάζεται να βρίσκεται στην εμβέλεια ενός gateway. Η συσκευή δεν σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο gateway, έτσι συνήθως ένα πακέτο παραλαμβάνετε από πολλά gateway. Το κάθε gateway δεν επεξεργάζεται τα πακέτα που παραλαμβάνει, αλλά τα προωθεί απευθείας στο network server χρησιμοποιώντας συμβατικά δίκτυα (cellular, ethernet, Wi-Fi). Έτσι η πολυπλοκότητα μεταφέρετε στο network server και τα gateway μπορούν να διατηρήσουν την απλότητα τους που τους επιτρέπει να δέχονται μεγαλύτερο αριθμό πακέτων [7].

Υπάρχουν δύο τρόποι σύνδεσης:

1. Over the Air Activation (OTAA), όπου η συσκευή χρειάζεται το DevEUI, το οποίο είναι ο μοναδικός αριθμός της συσκευής, το AppEUI το οποίο είναι ο μοναδικός αριθμός της εφαρμογής στην οποία θέλει να συνδεθεί και το AppKey το οποίο το παίρνει από το διαχειριστή του δικτύου όταν γίνει η εγγραφή της συσκευής στην εφαρμογή. Με αυτά τα στοιχεία η συσκευή αποστέλλει ένα αίτημα σύνδεσης στο δίκτυο.

2. Activation by Personalization (ABP) σε αυτή την περίπτωση τα απαραίτητα στοιχεία (session keys) αποθηκεύονται στην συσκευή και δεν χρειάζεται να γίνεται αίτημα σύνδεσης στο δίκτυο.

Το OTAA θεωρείται πιο ασφαλής μέθοδος αφού σε κάθε σύνδεση παράγονται καινούργια session keys, ενώ στο ABP παραμένουν τα ίδια.

Για την αποστολή των δεδομένων το LoRaWAN χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο LoRa το οποίο καθορίζει το physical layer. Το LoRa είναι μια παραλλαγή του chirp spread-spectrum (CSS PHY) modulation το οποίο περιγράφεται στο IEEE Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANS) πρωτόκολλο του 802.15.4 [1]. Αυτό επιτρέπει στο σήμα να έχει μεγαλύτερη αντοχή σε παρεμβολές. Η κύρια παράμετρος είναι το Spreading Factor το οποίο μπορεί να κυμαίνεται από 7 έως 12. Όσο μεγαλύτερο το Spreading Factor τόσο μεγαλύτερη απόσταση μπορεί να διανύσει το σήμα όμως μειώνεται τα δεδομένα που μπορεί να αποστείλει.

Υπάρχουν τρεις κλάσεις συσκευών που ενώνονται στο δίκτυο:

- Class A: η συσκευή μπορεί να δεχτεί πακέτα μόνο μετά που θα αποστείλει πακέτο. Μετά από κάθε uplink η συσκευή ανοίγει δύο παράθυρα για παραλαβή δεδομένων επιτρέποντας στο gateway να αποστείλει acknowledge και downlink. Είναι ο βασικός τρόπος λειτουργίας ο οποίος έχει και την μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας.
- Class B: επιπρόσθετα από τις λειτουργίες της κατηγορίας A οι συσκευές ανοίγουν ακόμα ένα παράθυρο σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα για να παραλάβουν πακέτα από το gateway.
- Class C: οι συσκευές μπορούν να παραλαμβάνουν συνέχεια πακέτα εκτός την στιγμή που αποστέλλουν.

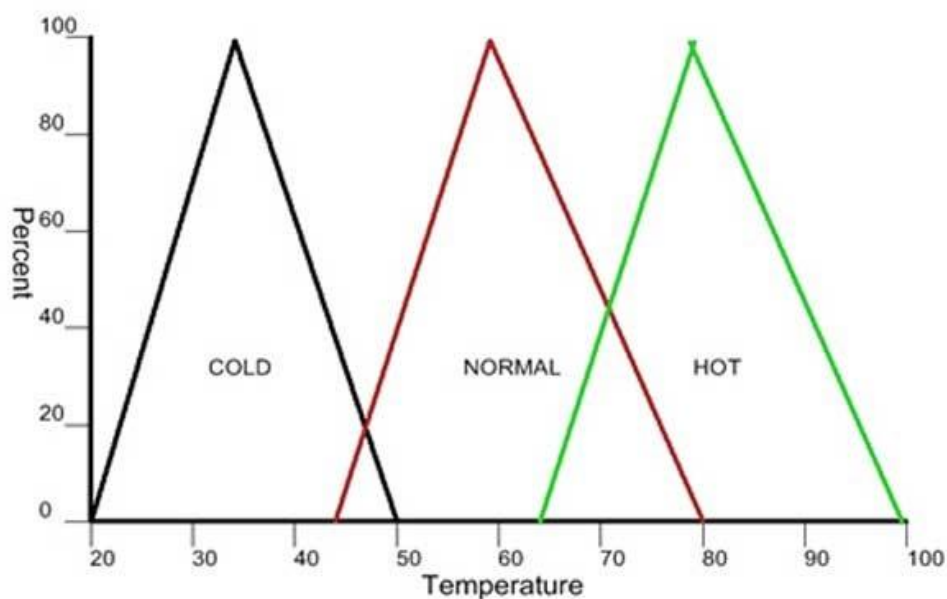
2.4 Fuzzy Logic

Η θεωρία Ασαφών Συνόλων (Fuzzy Set Theory) προτάθηκε από τον Lofti Zadeh την δεκαετία του 1960. Το fuzzy logic είναι ένα υπεрсύνολο της κλασικής λογικής (Boolean), η οποία έχει επεκταθεί ώστε να μπορεί να χειριστεί τιμές αληθείας μεταξύ του «απολύτως

αληθές» και του «απολύτως ψευδές» [8]. Πιο συγκεκριμένα τα αποτελέσματα δεν ανήκουν στη Boolean λογική, 0 ή 1, όπου είτε κάτι ισχύει είτε δεν ισχύει, αλλά ανήκουν σε μια νέα λογική όπου κάτι μπορεί να βρίσκεται κάπου στη μέση, πιο κοντά στην αλήθεια ή πιο κοντά στο ψέμα. Θα μπορούσαμε να πούμε πως προσμοιάζει στον τρόπο που λειτουργούν οι άνθρωποι, δηλαδή παίρνει τις αποφάσεις με βάση ένα σύνολο από κανόνες.

Το fuzzy logic είναι ένα rule-based σύστημα το οποίο με βάση κάποιους κανόνες λαμβάνει κάποιες αποφάσεις [9]. Αρχικά πρέπει να δημιουργηθούν τα fuzzy data sets και τα αντίστοιχα membership functions για κάθε μεταβλητή εισόδου και εξόδου. Τα fuzzy data sets αναπαριστούν γλωσσικά τις μεταβλητές και τα membership functions αναπαριστούν το εύρος των τιμών που μπορούν να λάβουν τα fuzzy data sets.

Στο σχήμα φαίνονται τα τρία fuzzy data sets COLD, NORMAL, HOT και τα αντίστοιχα membership functions τους



Source: <https://www.controleng.com/articles/artificial-intelligence-fuzzy-logic-explained/>

Σχήμα 2.5: Fuzzy data sets και τα αντίστοιχα membership functions τους.

2.4.1 Αλγόριθμος: [10]

1. Ορισμός των γλωσσικών μεταβλητών που θα χρησιμοποιηθούν για είσοδο και έξοδο, fuzzy data sets.
2. Κατασκευή membership functions για τα fuzzy data sets.
3. Κατασκευή των κανόνων IF-THEN που ορίζουν το επιθυμητό αποτέλεσμα εξόδου για κάθε μεταβλητή εισόδου
4. Χρησιμοποιώντας τα membership functions μετατρέπουμε τα δεδομένα εισόδου σε fuzzy data sets (fuzzification)
5. Με βάση τους κανόνες υπολογισμός της εξόδου
6. Μετατροπή της εξόδου που είναι σε fuzzy value, μέσω της membership function της μεταβλητής εξόδου, σε αποτέλεσμα εξόδου (defuzzification).

2.5 Πρόγνωση καιρού

Η πρόγνωση του καιρού είναι ένα πεδίο που απασχολεί την ανθρωπότητα εδώ και χιλιάδες χρόνια. Η πρόγνωση του καιρού είναι ένα πολύ περίπλοκο εγχείρημα. Στις μέρες μας η πρόγνωση γίνεται με την χρήση υπερυπολογιστών, μετεωρολογικών σταθμών σε διάφορα σημεία, με την βοήθεια δορυφόρων και περίπλοκων προγνωστικών μοντέλων.

Ο πιο απλός τρόπος είναι με βάση την ατμοσφαιρική πίεση. Έχει παρατηρηθεί πως όταν η ατμοσφαιρική πίεση μειώνετε ο καιρός χειροτερεύει, όταν αυξάνετε ο καιρός βελτιώνετε, ενώ όταν παραμένει σταθερή δεν υπάρχει αξιοσημείωτη μεταβολή στο καιρό.

Στα πλαίσια της διπλωματικής χρειαζόταν μια απλή τοπική πρόγνωση του καιρού για τις επόμενες ώρες.

2.5.1 Zambretti Forecaster

Έχει παρατηρηθεί πως όταν η ατμοσφαιρική πίεση μειώνετε ο καιρός χειροτερεύει, όταν αυξάνετε ο καιρός βελτιώνετε, ενώ όταν παραμένει σταθερή δεν υπάρχει αξιοσημείωτη μεταβολή στο καιρό. Η προσέγγιση αυτή όμως είναι πολύ απλοϊκή και δεν λαμβάνει

υπόψιν σοβαρές παραμέτρους, όπως την ατμοσφαιρική πίεση την συγκεκριμένη στιγμή, με αποτέλεσμα να κάνει πολύ γενικές και όχι ακριβείς προβλέψεις. Το μοντέλο Zambretti προσμετρά όλες αυτές τις παραμέτρους για την πρόγνωση του καιρού

Είναι ένα εργαλείο που κατασκευάστηκε από τις εταιρείες Negretti και Zambra το 1915 ως ένα φορητό εργαλείο πρόγνωσης του καιρού με την χρήση ελάχιστων οργάνων. Χρειάζεται ένα απλό βαρόμετρο και την κατεύθυνση του αέρα. Το αποτέλεσμα βασίζεται σε εμπειρική παρακολούθηση του καιρού και παρά την απλότητα του πετυχαίνει 90% ακρίβεια στην πρόγνωση του καιρού για τις επόμενες 12 ώρες. Έχει καλύτερα αποτελέσματα αν η μέτρηση γίνει στις 09:00 το πρωί τοπική ώρα.



Source: <http://integritext.net/DrKFS/zambretti.htm>

Σχήμα 2.6: Zambretti Forecaster. Αριστερά η εμπρός όψη. Δεξιά η πίσω όψη

Το εργαλείο χρησιμοποιεί την τάση της βαρομετρικής πίεσης, δηλαδή αν αυξάνετε, αν μειώνετε ή αν μένει σταθερή, την βαρομετρική πίεση μετετρεμμένη στο επίπεδο της θάλασσας, την κατεύθυνση του αέρα και τον μήνα. Η μετατροπή της πίεσης σε ένα σημείο στην αντίστοιχη πίεση στο επίπεδο της θάλασσας γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Po = P \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15} \right)^{-5.257}$$

Όπου P_0 είναι η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, P είναι η πίεση που μετρήθηκε, h το υψόμετρο σε μέτρα που έγινε η μέτρηση και T η θερμοκρασία στο σημείο της μέτρησης.

Όταν τοποθετούνταν όλα τα δεδομένα πάνω στο εργαλείο αυτό έδινε ένα γράμμα το οποίο αντιστοιχούσε σε μία πρόβλεψη καιρού:[11]

Letter	Forecast
A	Settled Fine
B	Fine Weather
C	Becoming Fine
D	Fine Becoming Less Settled
E	Fine, Possibly showers
F	Fairly Fine, Improving
G	Fairly Fine, Possibly showers, early
H	Fairly Fine Showery Later
I	Showery Early, Improving
J	Changeable Mending
K	Fairly Fine , Showers likely
L	Rather Unsettled Clearing Later
M	Unsettled, Probably Improving
N	Showery Bright Intervals
O	Showery Becoming more unsettled
P	Changeable some rain
Q	Unsettled, short fine Intervals
R	Unsettled, Rain later
S	Unsettled, rain at times
T	Very Unsettled, Finer at times
U	Rain at times, worse later.
V	Rain at times, becoming very unsettled
W	Rain at Frequent Intervals
X	Very Unsettled, Rain
Y	Stormy, possibly improving

Z	Stormy, much rain
---	-------------------

2.5.2 Αλγόριθμος Zambretti (a11, a12)

Το εργαλείο αυτό έχει μετατραπεί σε αλγόριθμο έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σύγχρονα συστήματα:

1. Υπολογισμός της πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας (P_0):

$$P_0 = P \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15} \right)^{-5.257}$$

Όπου P_0 είναι η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, P είναι η πίεση που μετρήθηκε, h το υψόμετρο σε μέτρα που έγινε η μέτρηση και T η θερμοκρασία στο σημείο της μέτρησης.

2. Εύρεση της τάσης της πίεσης

- Αν η πίεση μειώνεται υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 130 - \frac{P_0}{81}$
- Αν η πίεση είναι σταθερή υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 147 - \frac{5P_0}{376}$
- Αν η πίεση αυξάνετε υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 179 - \frac{2P_0}{129}$

3. Προσαρμόζουμε το Z με βάση την κατεύθυνση του ανέμου

- Για βόριο άνεμο $Z=Z+1$
- Για νότιο άνεμο $Z=Z-2$

4. Προσαρμόζουμε το Z για την εποχή

- Αν είναι χειμώνας (Οκτώβριος-Απρίλιο) $Z=Z-1$
- Αν είναι καλοκαίρι (Μάιος-Σεπτέμβριος) $Z=Z+1$

5. Βρίσκουμε την πρόγνωση με βάση τον πίνακα:

Forecast Number (Z)	Forecast
1	Settled Fine
2	Fine Weather
3	Fine Becoming Less Settled
4	Fairly Fine Showery Later

5	Showery Becoming more unsettled
6	Unsettled, Rain later
7	Rain at times, worse later.
8	Rain at times, becoming very unsettled
9	Very Unsettled, Rain
10	Settled Fine
11	Fine Weather
12	Fine, Possibly showers
13	Fairly Fine , Showers likely
14	Showery Bright Intervals
15	Changeable some rain
16	Unsettled, rain at times
17	Rain at Frequent Intervals
18	Very Unsettled, Rain
19	Stormy, much rain
20	Settled Fine
21	Fine Weather
22	Becoming Fine
23	Fairly Fine, Improving
24	Fairly Fine, Possibly showers, early
25	Showery Early, Improving
26	Changeable Mending
27	Rather Unsettled Clearing Later
28	Unsettled, Probably Improving
29	Unsettled, short fine Intervals
30	Very Unsettled, Finer at times
31	Stormy, possibly improving
32	Stormy, much rain

Όπως φαίνεται και από την ανάλυση του αλγόριθμου οι κύριες παράμετροι που επηρεάζουν την πρόγνωση είναι η ατμοσφαιρική πίεση και η τάση της. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας το σύστημα που αναπτύχθηκε δεν είχε αισθητήρα για

την κατεύθυνση του ανέμου έτσι δεν χρησιμοποιήθηκε αυτή η παράμετρος στον υπολογισμό της τιμής.

2.6 Heat Index

Είναι μια μέτρηση που προσπαθεί να αναπαραστήσει την θερμοκρασία που αισθάνεται το ανθρώπινο σώμα. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η θερμοκρασία αέρα και η σχετική υγρασία υπό σκιά. Το ανθρώπινο σώμα δροσίζεται εκκρίνοντας ιδρώτα ο οποίος εξατμίζεται από το σώμα με αποτέλεσμα το σώμα να δροσίζεται. Όμως όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι ψηλή ο ρυθμός που εξατμίζεται ο ιδρώτας από το σώμα μειώνετε με αποτέλεσμα το σώμα να βιώνει υψηλότερη θερμοκρασία.

Relative Humidity %	Air temperature °C										
	21	24	27	29	32	35	38	41	43	46	49
0	18	21	23	26	28	31	33	35	37	39	42
10	18	21	24	27	29	32	35	38	41	44	47
20	19	22	25	28	31	34	37	41	44	49	54
30	19	23	26	29	32	36	40	45	51	57	64
40	20	23	26	30	34	38	43	51	58	66	
50	21	24	27	31	36	42	49	57	66		
60	21	24	28	32	38	46	56	65			
70	21	25	29	34	41	51	62				
80	22	26	30	36	45	58					
90	22	26	31	39	50						
100	22	27	33	42							

	Serious risk to health - heatstroke imminent
	Prolonged exposure and activity could lead to heatstroke
	Prolonged exposure and activity may lead to fatigue

Source: https://www.researchgate.net/figure/Apparent-temperature-heat-index-in-degrees-Celsius-according-to-air-temperature-and_fig2_325471848

Σχήμα 2.7: Heat Index σε σχέση με την θερμοκρασία και την υγρασία

2.6.1 Αλγόριθμος υπολογισμού Heat Index: [13]

- Αρχικά μετατρέπουμε την θερμοκρασία από Celsius σε Fahrenheit:

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times 1.8 + 32$$

- Αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 40F:

$$\text{HI} = T$$

- Αν η θερμοκρασία είναι μικρότερη από 80F χρησιμοποιείτε η φόρμουλα:

$$\text{HI} = 0.5 * \{T + 61.0 + [(T-68.0)*1.2] + (RH*0.094)\}$$

- Αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 80F χρησιμοποιείτε η φόρμουλα

$$\begin{aligned} \text{HI} = & -42.379 + 2.04901523*T + 10.14333127*RH - 0.22475541*T*RH - \\ & 0.00683783*T*T - 0.05481717*RH*RH + 0.00122874*T*T*RH + \\ & 0.00085282*T*RH*RH - .00000199*T*T*RH*RH \end{aligned}$$

- Αν η υγρασία είναι μικρότερη από 13% και η θερμοκρασία είναι μεταξύ 80F και 112F το παρακάτω αποτέλεσμα αφαιρείτε από το HI:

$$\text{ADJUSTMENT} = [(13-RH)/4]*\text{SQRT}\{[17-\text{ABS}(T-95.)/17]\}$$

- Αν η υγρασία είναι μεγαλύτερη από 85% και η θερμοκρασία είναι μεταξύ 80F και 87F το παρακάτω αποτέλεσμα προστίθεται στο HI:

$$\text{ADJUSTMENT} = [(RH-85)/10] * [(87-T)/5]$$

Όπου T η θερμοκρασία σε βαθμούς Fahrenheit και RH (Relative Humidity) η σχετική υγρασία

- Μετατροπή από Fahrenheit σε Celsius:

$$T(^{\circ}\text{C}) = (T(^{\circ}\text{F}) - 32) \times 1.8$$

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Προδιαγραφές	30
3.2 Hardware	31
3.2.1 The Things Uno	32
3.2.1.1 Arduino Leonardo	32
3.2.2 The Things Gateway	34
3.3 Sensors	35
3.3.1 DHT22-Temperature and Humidity Sensor	35
3.3.2 MQ2 Gas Sensor	36
3.3.3 Ultrasonic Sensor (HC-SR04)	37
3.3.4 Barometric Sensor	38
3.3.5 Ανιχνευτής Βροχής (fr-04)	38
3.4 The Things Network	39
3.4.1 Διαχείριση των gateways	39
3.4.2 Διαχείριση των εφαρμογών	40
3.5 Web Platform	41
3.5.1 myDevices Cayenne	42
3.5.2 TagoIO	42

3.1 Προδιαγραφές

Μετά την επιλογή της τεχνολογίας σύνδεσης έπρεπε να καθοριστούν οι προδιαγραφές του συστήματος που θα οδηγούσαν στη σωστή επιλογή συσκευών και λογισμικού που θα επέτρεπαν την επιτυχή περάτωση της εφαρμογής και των στόχων της.

Οι προδιαγραφές που τέθηκαν είναι οι εξής:

- **Σύνδεση LoRaWAN:** είναι απαραίτητο οι συσκευές που θα χρησιμοποιηθούν να μπορούν να ενωθούν χρησιμοποιώντας τεχνολογία LoRaWAN, για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο
- **Χαμηλό κόστος:** μία από τις κύριες προδιαγραφές είναι το σύστημα που θα δημιουργηθεί να έχει όσο το δυνατό πιο μικρό κόστος. Τόσο σε θέμα συσκευών και αισθητήρων αφού σκοπός είναι η τοποθέτηση χιλιάδων αισθητήρων σε όλη την Κύπρο, όσο και σε έξοδα λογισμικού.
- **Επεκτασιμότητα:** Είναι απαραίτητο να υπάρχει η δυνατότητα προσθήκης καινούργιων συσκευών. Έτσι πρέπει να γίνει προσεκτικός σχεδιασμός του δικτύου αλλά και της εφαρμογής για να υποστηρίζουν την σύνδεση καινούργιων συσκευών
- **Ευελιξία:** Το σύστημα πρέπει να προσφέρει την δυνατότητα υποστήριξης συσκευών με διαφορετικά είδη αισθητήρων.
- **Ευχρηστία:** Το σύστημα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολο στη χρήση από όλους τους δυνητικούς του χρήστες. Πρέπει ο χρήστης εύκολα και αποτελεσματικά να επιτυγχάνει τους στόχους του.
- **Διαθεσιμότητα:** Η εφαρμογή πρέπει να είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο
- **Εγκυρότητα δεδομένων:** Πρέπει να ελεγχτούν ότι τα δεδομένα των αισθητήρων ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα
- **Ασφάλεια:** Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η διασφάλιση των προσωπικών δεδομένων των χρηστών.

3.2 Hardware

Η επιλογή των κατάλληλων συσκευών για την Διπλωματική εργασία ήταν ένα πολύ σημαντικό κομμάτι το οποίο χρειάστηκε αρκετή έρευνα έτσι ώστε να αποκτηθούν συσκευές που θα πληρούσαν τις προδιαγραφές που τέθηκαν.

Λόγω της απόφασης για χρήση LoRaWAN ήταν απαραίτητη η δημιουργία ιδιωτικού δικτύου, έτσι έπρεπε να αγοραστεί gateway και συσκευές που θα υποστήριζαν την τεχνολογία LoRaWAN. Μετά από έρευνα αποφασίστηκε η προμήθεια υλικού από το «The Things Network»(TTN) . Το «The Things Network» είναι μια startup που έχει στόχο την ανάπτυξη ενός crowd-funded IoT δικτύου [1]. Η επιλογή του «The Things

Network» έγινε επειδή προσφέρει μια ολοκληρωμένη λύση για την ανάπτυξη ενός LoRaWAN δικτύου σε προσιτή τιμή. Το μόνο που χρειάζεται είναι η επιλογή του κατάλληλου gateway και συσκευές από αυτές που προσφέρονται. Το network server και οι άλλες υπηρεσίες προσφέρονται από το TTN χωρίς επιπλέον χρέωση.

3.2.1 The Things Uno

Το «The Things Uno» είναι στην ουσία ένα Arduino Leonardo με ενσωματωμένο LoRaWAN module στο οποίο μπορούν να ενωθούν αισθητήρες και να αποστέλλει δεδομένα μέσω του gateway στο application που θα δημιουργηθεί στο «The Things Network». Το The Things Uno λειτουργεί όπως ένα κανονικό Arduino board με την διαφορά πως μπορεί να αποστείλει δεδομένα μέσω LoRaWAN, το μόνο που χρειάζεται είναι να ενωθεί στο δίκτυο και να κωδικοποιήσει τα δεδομένα που θέλει να αποστείλει σε μια ακολουθία από bytes. Για αυτόν το σκοπό το The Things Network προσφέρει έτοιμη βιβλιοθήκη για την σύνδεση της συσκευής με το gateway και την αποστολή των δεδομένων [20].

3.2.1.1 Arduino Leonardo

Το Arduino είναι μια open-source software και hardware πλατφόρμα που αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή που επιτρέπει στην συσκευή να προγραμματιστεί και δίνει την δυνατότητα να ενωθούν σε αυτό διάφοροι αισθητήρες ή συσκευές. Για να προγραμματιστεί πρέπει να συνδεθεί με την χρήση USB με H/Y, όπου με την χρήση του Arduino IDE (Integrated Development Environment) που τρέχει στον υπολογιστή δημιουργείται και μεταφορτώνεται το πρόγραμμα στην συσκευή. Στο Arduino IDE υποστηρίζονται οι γλώσσες προγραμματισμού C και C++.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές Arduino με διαφορετικές δυνατότητες, όπου το κάθε ένα χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό. Οι κύριες διαφορές είναι στο μικροεπεξεργαστή, στη μνήμη και στα pins. Το Arduino Leonardo είναι ένα board που χρησιμοποιεί τον μικροεπεξεργαστή ATmega32u4. Τα βασικά χαρακτηριστικά του είναι:

- Μπορεί να τροφοδοτηθεί με μπαταρίες ή με ρεύμα, πράγμα πολύ σημαντικό αφού υπάρχει περίπτωση κάποιες από τις συσκευές που θα τοποθετηθούν να μην έχουν

πρόσβαση σε τροφοδοσία ρεύματος. Επίσης έχει ενσωματωμένο current regulator που του επιτρέπει να δέχεται ρεύμα από 5-20 volts.

- Έχει ένα 3.3V και ένα 5V pins που του επιτρέπει να τροφοδοτεί τους αισθητήρες που ενώνονται σε αυτό.
- Υπάρχει το reset button το οποίο επανεκκινεί το board και το πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο σε αυτό.
- Διαθέτει 14 digital και 6 analog input/output pins που επιτρέπουν την σύνδεση άλλων συσκευών ή αισθητήρων.
- Υπάρχουν τρία είδη μνήμης:
 - SRAM μνήμη (Static Random-Access Memory) με μέγεθος 2KB, που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση του προγράμματος και την αποθήκευση των μεταβλητών. Τα δεδομένα διαγράφονται με την απενεργοποίηση του Arduino
 - Μνήμη Flash με μέγεθος 32KB, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του κώδικα που εκτελείται στο board. Τα δεδομένα παραμένουν αποθηκευμένα και μετά την απενεργοποίηση του Arduino.
 - EEPROM μνήμη με μέγεθος 1KB χρησιμοποιείται για την αποθήκευση δεδομένων-μεταβλητών που χρειάζεται να διατηρηθούν και μετά την απενεργοποίηση του Arduino.



Source: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/uno/quick-start.html>

Σχήμα 3.1: The Things Uno based on Arduino Leonardo

3.2.2 The Things Gateway

Όπως προαναφέρθηκε, για την σύνδεση μέσω LoRaWAN είναι απαραίτητο να δημιουργηθεί καινούργιο ιδιωτικό δίκτυο. Για αυτό το σκοπό ήταν απαραίτητη η προμήθεια ενός gateway. Επιλέγηκε η αγορά του The Things Gateway επειδή είναι μια φτηνή, γρήγορη και αξιόπιστη συσκευή.

Το gateway είναι πολύ εύκολο και γρήγορο να ρυθμιστεί και να ενωθεί με το The Things Network. Το μόνο που χρειάζεται είναι μια σύνδεση στο διαδίκτυο είτε μέσω Wi-Fi, είτε μέσω Ethernet. Για να είναι οικονομικό και εύκολο στη χρήση το gateway τρέχει πάνω σε ένα minimal firmware, έτσι τρέχει μόνο το packet forwarding software, δηλαδή μπορεί μόνο να παραλαμβάνει πακέτα από τις συσκευές και να τα προωθεί στο network server ή να παραλαμβάνει πακέτα από το network server και να τα προωθεί στις συσκευές

Τα κύρια χαρακτηριστικά του gateway είναι:

- Γρήγορος τρόπος για την δημιουργία LoRaWAN δικτύου
- Σύνδεση Wi-Fi or Ethernet
- Κάλυψη μέχρι και 10km
- Μπορεί να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό συσκευών ή μεγάλη ποσότητα δεδομένων.
- Ασφάλεια
- Minimal firmware - packet forwarding software

Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του The Things Gateway ανάλογα με την χώρα για την οποία προορίζεται, αφού κάθε χώρα έχει διαφορετικές διαθέσιμες συχνότητες για χρήση. Η Κύπρος ακολουθεί τα Ευρωπαϊκά πρότυπα έτσι στα πλαίσια της διπλωματικής αγοράστηκε η ευρωπαϊκή εκδοχή του gateway που εκπέμπει στα 868MHZ.



Source: <https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/gateway/>

Σχήμα 3.2: The Things Gateway

3.3 Sensors

Στο The Things Uno πρέπει να τοποθετηθούν αισθητήρες για την καταγραφή των μετρήσεων που χρειάζονται. Για να διατηρηθεί το κόστος χαμηλά επιλέχτηκε να μην γίνει χρήση expansion shield αλλά να ενωθούν οι αισθητήρες απευθείας στα pins του Arduino. Επίσης λόγω του ότι οι συσκευές θα τοποθετούνταν σε σταθερή θέση αποφασίστηκε να μην τοποθετηθεί GPS module για εξοικονόμηση ενέργειας και για να κρατηθεί το κόστος χαμηλά. Για την εισαγωγή των συντεταγμένων που βρίσκεται η συσκευή αποφασίστηκε να γίνεται χειροκίνητα στην εφαρμογή. Η χρήση Arduino επιτρέπει την επιλογή από μία ευρεία γκάμα από αισθητήρες. Η εφαρμογή κατασκευάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζει αρκετές συσκευές, όπως θερμοκρασίας, υγρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης, απόστασης, ανιχνευτή αερίων, ανιχνευτή βροχής και φωτός. Όμως είναι πολύ εύκολο να υποστηριχτούν και άλλες συσκευές στο μέλλον.

3.3.1 DHT22 – Temperature and Humidity Sensor

Ο αισθητήρας αυτός είναι κατάλληλος για την μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (relative humidity). Ο αισθητήρας αυτός είναι ιδανικός για την εφαρμογή που αναπτύσσεται και για χρήση με το Arduino αφού είναι αρκετά φτηνός,

έχει χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και μπορεί να τροφοδοτηθεί από 3.3 μέχρι 6 Volts. Μπορεί να μετρήσει υγρασία από 0-100% με ακρίβεια $\pm 2\%$, ενώ μετρά θερμοκρασία από -40 έως 80 βαθμούς κελσίου με ακρίβεια $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ [21]. Το μόνο μειονέκτημά του είναι πως μπορεί να λαμβάνει μετρήσεις μόνο μία φορά κάθε δύο δευτερόλεπτα, πράγμα που για τις απαιτήσεις της εφαρμογής που αναπτύσσεται δεν επηρεάζει. Είναι αρκετά εύκολος στην χρήση και υπάρχει έτοιμη βιβλιοθήκη για ευκολία χρήσης [22]. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας ελέγχτηκε η ακρίβεια των μετρήσεων του με την χρήση ενός εργαλείου ακριβείας και βρέθηκε πως η ακρίβεια του είναι στα πλαίσια που δηλώνει ο κατασκευαστής.



Source: <http://cactus.io/ hookup/sensors/temperature-humidity/dht22/hookup-arduino-to-keyes-dht22-temp-humidity-module>

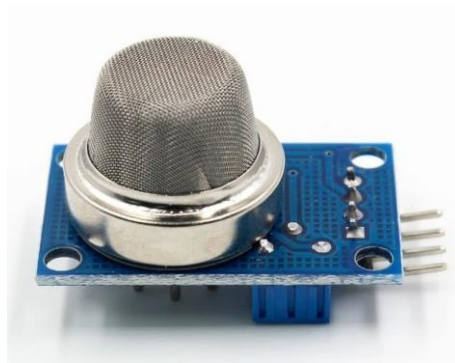
Σχήμα 3.3: DHT22 Sensor

3.3.2 MQ2 Gas Sensor

Ο αισθητήρας αυτός είναι κατάλληλος να ανιχνεύει αρκετά διαφορετικά αέρια. Έχει την δυνατότητα να ανιχνεύει υδρογόνο (H_2), υγραέριο (LPG), μεθάνιο (CH_4), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), αλκοόλ, καπνό και προπάνιο, όμως δεν μπορεί να τα ξεχωρίσει [23]. Είναι ιδανικός για την ανίχνευση διαρροής αερίων. Η χρήση του είναι σημαντική αφού μπορεί να προειδοποιήσει εγκαίρως για την ύπαρξη επικίνδυνων αερίων στην ατμόσφαιρα. Ο αισθητήρας μπορεί να λάβει τιμές από 0-1000, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή τόσο μεγαλύτερη είναι και η συγκέντρωση των αερίων. Τα μειονεκτήματά του είναι:

- Δεν μπορεί να ξεχωρίσει πιο αέριο έχει μετρήσει. Ο αισθητήρας επιστρέφει μία τιμή που αντιπροσωπεύει την μέτρηση για όλα τα αέρια.

- Έχει μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, για αυτό πρέπει να ενωθεί σε Arduino που τροφοδοτείτε από το δίκτυο ηλεκτρισμού ή από φωτοβολταϊκό.



Source: <https://robo.com.cy/collections/sensors/products/mq2-gas-sensor>

Σχήμα 3.4: MQ2 Gas Sensor

3.3.3 Ultrasonic Sensor (HC-SR04)

Ο αισθητήρας αυτός είναι κατάλληλος για να μετρά την απόσταση που βρίσκεται ένα αντικείμενο. Εκπέμπει υπερηχητικά κύματα τα οποία όταν χτυπήσουν σε ένα αντικείμενο επιστρέφουν πίσω, έτσι ο αισθητήρας υπολογίζοντας τον χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να επιστρέψει υπολογίζει την απόσταση που βρίσκεται το αντικείμενο. Μπορεί να ανιχνεύσει αντικείμενο που βρίσκεται σε απόσταση από 2-400cm [24]. Στην εφαρμογή που αναπτύσσεται θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της πληρότητας του κάδου σκουπιδιών.

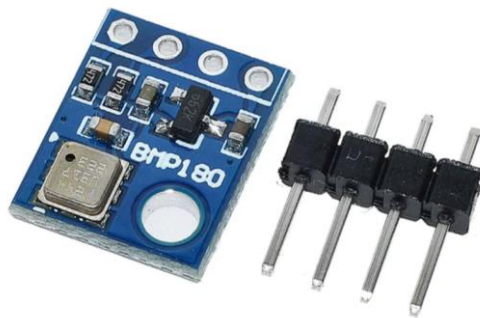


Source: <https://robo.com.cy/collections/sensors/products/ultrasonic-sensor>

Σχήμα 3.5: HC-SR04 Ultrasonic Sensor

3.3.4 Barometric Sensor

Για την μέτρηση της βαρομετρικής πίεσης αγοράστηκαν ο BMP280 [25] και το προηγούμενο μοντέλο BMP180 [24], επειδή δεν ήταν δυνατή η προμήθεια ίδιων αισθητήρων. Οι δύο αισθητήρες είναι πανομοιότυπη, με την διαφορά πως ο BMP280 είναι λίγο πιο ακριβής στις μετρήσεις, πράγμα που για την συγκεκριμένη εφαρμογή δεν επηρεάζει, και καταναλώνει λιγότερη ενέργεια [26]. Και οι δύο αισθητήρες έχουν την δυνατότητα να πάρουν μετρήσεις από 300-1100hPa. Οι αισθητήρες έχουν επίσης την δυνατότητα να μετρούν και την θερμοκρασία, όμως μετά από έλεγχο που έγινε διαπιστώθηκε πως λόγω του ότι παράγουν αρκετή θερμότητα κατά την λειτουργία τους οι μετρήσεις τους δεν ήταν ακριβής. Οι αισθητήρες θα χρησιμοποιηθούν σε αυτή την εργασία για πρόγνωση του καιρού και για υπολογισμό του υψομέτρου που βρίσκεται η συσκευή με βάση την ατμοσφαιρική πίεση.



Source: <https://robo.com.cy/collections/sensors/products/bmp180-digital-barometric-pressure-sensor>

Σχήμα 3.6: BMP180 sensor

3.3.5 Ανιχνευτής Βροχής (fr-04)

Ο αισθητήρας αυτός είναι κατάλληλος για να γίνεται έλεγχος αν βρέχει. Ο αισθητήρας επιστρέφει τιμή μεταξύ 0-1000, όσο πιο μικρή είναι η τιμή τόσο πιο βρεγμένος είναι και κατ' επέκταση πιο δυνατή η βροχή [27].



Source: <https://www.antoniadis.com.cy/el/arduino-modules/11136-raindrops-detection-sensor-weather-humidity-module.html>

Σχήμα 3.7: BMP180 sensor

3.4 The Things Network

Το «The Things Network» είναι μια startup που έχει στόχο την ανάπτυξη ενός crowd-funded IoT δικτύου [1]. Η επιλογή του «The Things Network» έγινε επειδή προσφέρει μια ολοκληρωμένη λύση για την ανάπτυξη ενός LoRaWAN δικτύου σε προσιτή τιμή. Το μόνο που χρειάζεται είναι η επιλογή του κατάλληλου gateway και συσκευές από αυτές που προσφέρονται. Το network server και οι άλλες υπηρεσίες προσφέρονται από το TTN χωρίς επιπλέον χρέωση.

Για την χρήση του πρέπει να γίνει ένας δωρεάν λογαριασμός στην πλατφόρμα και μετά έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες που προσφέρει. Οι κύριες υπηρεσίες που προσφέρει είναι δύο:

1. Διαχείριση των gateways
2. Διαχείριση των εφαρμογών

3.4.1 Διαχείριση των gateways

Σε αυτή την λειτουργία ο χρήστης έχει την δυνατότητα να συνδέσει το gateway του με το The Things Network. Η διαδικασία είναι πολύ απλή και γρήγορη και το μόνο που χρειάζεται είναι ο χρήστης να έχει φυσική πρόσβαση στο gateway. Στην συνέχεια μέσω

αυτής της λειτουργίας ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει τις λειτουργίες των gateways που έχει συνδεδεμένα στον λογαριασμό του. Επίσης του δίνεται η δυνατότητα να καθορίσει την τοποθεσία που βρίσκεται το gateway σε περίπτωση που θέλει να χρησιμοποιήσει την δυνατότητα καθορισμού της θέσης της συσκευής που εκπέμπει στο δίκτυο. Για να είναι δυνατός ο εντοπισμός της θέσης μιας συσκευής πρέπει το σήμα που εκπέμπει να παραλαμβάνεται από τουλάχιστο τρία gateway που έχουν ορίσει το location τους.

3.4.2 Διαχείριση των εφαρμογών

Σε αυτή την λειτουργία ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί τις εφαρμογές του. Η δημιουργία καινούργιας εφαρμογής είναι πολύ εύκολη, το μόνο που χρειάζεται να κάνει ο χρήστης είναι να δώσει στην εφαρμογή ένα μοναδικό όνομα και το σύστημα θα παράξει ένα μοναδικό αριθμό για αυτήν (app EUI).

Στη συνέχεια ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί την εφαρμογή του. Έχει τις παρακάτω δυνατότητες:

- Εγγραφή συσκευών στην εφαρμογή. Ο χρήστης με την χρήση του μοναδικού αριθμού της συσκευής (device EUI) που θέλει να συνδέσει στην εφαρμογή μπορεί να την εγγράψει στην εφαρμογή. Στην συνέχεια πρέπει να δώσει στην συσκευή το app EUI της εφαρμογής και το app key που παράχθηκε με την εγγραφή της συσκευής στην εφαρμογή για να μπορεί η συσκευή να ενωθεί με την εφαρμογή και να αποστέλλει δεδομένα
- Επεξεργασία εγγεγραμμένων συσκευών. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δει πληροφορίες για τις εγγεγραμμένες συσκευές όπως για παράδειγμα πόσα δεδομένα έχουν αποστείλει ή πότε ήταν η τελευταία φορά που έστειλαν, όπως επίσης έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις ρυθμίσεις τους ή να τις διαγράψει από την εφαρμογή.
- Καθορισμός του payload format. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι συσκευές στέλνουν τα δεδομένα ως μια ακολουθία από bytes. Ανάλογα με την εφαρμογή πρέπει να γίνει και η κατάλληλη επεξεργασία στα bytes ώστε να παραχθούν ‘αποκρυπτογραφηθούν’ τα δεδομένα. Εκεί ο χρήστης μπορεί να γράψει ένα πρόγραμμα σε JavaScript που του επιτρέπει να κάνει την αποκρυπτογράφηση των bytes και να επιστρέψει τα δεδομένα ως JSON object. Επίσης έχει την δυνατότητα

να κάνει το αντίθετο, δηλαδή να μετατρέψει δεδομένα σε ακολουθία από bytes για να αποσταλούν από το δίκτυο στη συσκευή.

- **Integrations.** Δίνει στο χρήστη την δυνατότητα να προσθέσει λειτουργίες στην εφαρμογή του. Έχει την δυνατότητα να επιλέξει το Storage Integration το οποίο αποθηκεύει τα δεδομένα για μία βδομάδα και του δίνει πρόσβαση σε ένα API για να τα κατεβάσει. Επίσης μέσω των integrations που προσφέρονται έχει την δυνατότητα να επιλέξει να συνδέσει την εφαρμογή του με εξωτερικές πλατφόρμες που συνεργάζονται με το The Things Network. Έτσι ο χρήστης μπορεί να χειρίζεται τα δεδομένα και τις συσκευές του από εξωτερική πλατφόρμα και το integration αναλαμβάνει τον συντονισμό της πλατφόρμας με το The Things Network.
- **Data.** Ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα που φτάνουν στην εφαρμογή του.
- **Settings.** Ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τις ρυθμίσεις της εφαρμογής, όπως για παράδειγμα να προσθέσει και άλλους χρήστες ως συνεργάτες στην εφαρμογή.

Είναι απαραίτητο να αναφερθεί πως στην εφαρμογή γίνεται εγγραφή μόνο συσκευών και όχι gateways, αφού όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως τα gateways είναι ανεξάρτητα και το μόνο που κάνουν είναι να προωθούν τα μηνύματα που παραλαμβάνουν στο network server για τον μετέπειτα χειρισμό τους.

3.5 Web Platform

Η επιλογή της κατάλληλης πλατφόρμας όπου θα αναπτυσσόταν το web application ήταν μια σημαντική απόφαση που έπρεπε να ληφθεί, αφού θα επηρέαζε σε μεγάλο βαθμό τις δυνατότητες της εφαρμογής που αναπτύσσεται αλλά και την εμπειρία του χρήστη. Απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να παρέχει την δυνατότητα επεξεργασίας και προβολής των δεδομένων, όπως επίσης δυνατότητα εγγραφής χρηστών και επεξεργασίας και διαχωρισμού των χρηστών και των δυνατοτήτων τους. Η πλατφόρμα του The Things Network δίνει την δυνατότητα μέσω των Integrations για γρήγορη και εύκολη σύνδεση της εφαρμογής με πολλές διαφορετικές εξωτερικές πλατφόρμες. Μετά από έρευνα επιλέχτηκαν δύο πλατφόρμες. Αρχικά επιλέγηκε η πλατφόρμα Cayenne επειδή πρόσφερε εύκολη και γρήγορη σύνδεση των συσκευών στην πλατφόρμα, έτσι ήταν εύκολος ο

έλεγχος των αισθητήρων κατά την αρχική φάση της υλοποίησης. Τέλος, για την δημιουργία της τελικής εφαρμογής επιλέγηκε το Tago.io αφού καλύπτει όλες τις προϋποθέσεις που τέθηκαν.

3.5.1 myDevices Cayenne

Το Cayenne είναι μία πλατφόρμα που έχει σκοπό να κάνει εύκολη και γρήγορη την δημιουργία online dashboards για IoT συσκευές. Παρέχει εύκολη και γρήγορη σύνδεση με τις συσκευές, ειδικά με την χρήση του Cayenne Integration στο The Things Network η σύνδεση των δύο πλατφόρμων είναι μια πολύ απλή διαδικασία. Μετά την σύνδεση το σύστημα δημιουργεί αυτόματα το Dashboard για τους αισθητήρες τις συσκευής.

Παρόλη την ευκολία που προσφέρει στην σύνδεση και εμφάνιση των αισθητήρων προσφέρει ελάχιστες δυνατότητες παραμετροποίησης. Επίσης δεν δίνει καμία δυνατότητα επεξεργασίας των αποτελεσμάτων και εξαγωγής καινούργιων αποτελεσμάτων. Ενώ δεν δίνει την δυνατότητα δημιουργίας λογαριασμών και διαχείρισης των χρηστών του συστήματος.

Λόγω των περιορισμών της πλατφόρμας χρησιμοποιήθηκε μόνο στα αρχικά στάδια δημιουργίας της εφαρμογής, αφού πρόσφερε εύκολη και γρήγορη προβολή των δεδομένων από τους αισθητήρες.

3.5.2 TagoIO

Η πλατφόρμα tagoIO έχει δημιουργηθεί για να προσφέρει στο χρήστη την δυνατότητα για εύκολη δημιουργία της δικής του εφαρμογής για IoT συσκευές. Είναι ιδανικό για χρήση από επαγγελματίες που επιθυμούν να δημιουργήσουν το δικό τους application και να το προσφέρουν στους πελάτες τους, αφού προσφέρει απεριόριστες επιλογές παραμετροποιήσεις και διαχείρισης των συνδεδεμένων χρηστών.

Η πλατφόρμα προσφέρει διαφορετικά είδη συνδρομής ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής που αναπτύσσεται. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας

επιλέγηκε η χρήση του δωρεάν λογαριασμού έτσι ώστε να κρατηθεί χαμηλά το κόστος ανάπτυξης, αλλά και επειδή κάλυπτε τις ανάγκες για την ανάπτυξη της εφαρμογής.

Μερικές από τις δυνατότητες που προσφέρει η πλατφόρμα είναι:

- Διαχείριση των συνδεδεμένων συσκευών: Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τις συνδεδεμένες συσκευές και να τις επεξεργαστεί. Δίνεται η δυνατότητα να καθοριστεί payload parser έτσι ώστε να μετατρέπει τα bytes που στέλνονται από τη συσκευή σε δεδομένα. Στην περίπτωση που τα δεδομένα έρχονται από το The Things Network και όχι απευθείας από την συσκευή αυτό δεν είναι απαραίτητο αφού μπορεί να χρησιμοποιηθεί το payload format που καθορίστηκε στο application του The Things Network. Ο χρήστης μπορεί να ελέγξει τα δεδομένα που έχει αποθηκευμένα η κάθε συσκευή και να τα επεξεργαστεί αναλόγως.
- Analysis. Μπορούν να δημιουργηθούν προγράμματα τα οποία θα επεξεργάζονται τα δεδομένα των συσκευών. Αυτό το στοιχείο είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα που οδήγησαν στην επιλογή της πλατφόρμας αφού ο χρήστης έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει αλγορίθμους για την επεξεργασία των δεδομένων του. Υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν περίπλοκα προγράμματα machine learning. Η πλατφόρμα δίνει την δυνατότητα να τρέχουν online στην πλατφόρμα προγράμματα γραμμένα σε node.js και python, όμως υπάρχει και η δυνατότητα να τρέχουν προγράμματα εκτός της πλατφόρμας σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού τα οποία θα αποστέλλουν τα αποτελέσματα τους στην πλατφόρμα. Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει σε πια περίπτωση θα τρέχει το κάθε πρόγραμμα.
- Εγγραφή χρηστών. Δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να κάνουν εγγραφή και να έχουν πρόσβαση στο σύστημα.
- Διαχείριση χρηστών. Ο διαχειριστής της εφαρμογής μπορεί να ελέγξει ποιοι χρήστες είναι εγγεγραμμένοι στην εφαρμογή, να τους διαχωρίσει σε κατηγορίες και να καθορίσει τα δικαιώματα και τα dashboards που μπορεί η κάθε ομάδα να έχει πρόσβαση.
- Dashboards. Δίνεται η δυνατότητα για δημιουργία προσαρμοσμένων διεπιφανειών. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από έτοιμα widgets τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ή μπορεί να γίνει χρήση widgets από άλλες εφαρμογές ή που έχει κατασκευάσει ο χρήστης. Στα widgets υπάρχει μια ευρεία γκάμα

παραμετροποιήσεων όπως η απευθείας επεξεργασία των δεδομένων πριν την παρουσίαση, η εισαγωγή έξτρα συνδέσμων σε άλλα widgets και η αλλαγή της εμφάνισης του. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εξάγει τα dashboards και να τα χρησιμοποιήσει σε άλλες εφαρμογές.

Κεφάλαιο 4

Υλοποίηση

4.1 Arduino	46
4.1.1 Σύνδεση στο The Things Network	46
4.1.2 Σύνδεση sensors στη συσκευή	46
4.2 Κωδικοποίηση και Αποκωδικοποίηση των δεδομένων	47
4.3 Υλοποίηση κώδικα και έλεγχος	51
4.4 Διαδικτυακή Εφαρμογή	52
4.4.1 Σύνδεση The Things Network – TagoIO	52
4.4.2 Επεξεργασία των δεδομένων για εξαγωγή αποτελεσμάτων	53
4.4.2.1 Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας και υγρασίας	53
4.4.2.2 Υπολογισμός του Heat Index	54
4.4.2.3 Χρήση fuzzy logic	54
4.4.2.3.1 Fuzzy Logic για ανίχνευση επικίνδυνων αερίων και φωτιάς	54
4.4.2.3.2 Fuzzy Logic για την κατάσταση του καιρού	56
4.4.2.4 Υπολογισμός υψομέτρου	60
4.4.2.5 Πρόγνωση του καιρού	60
4.4.2.5.1 Πρώτη προσέγγιση	60
4.4.2.5.2 Δεύτερη προσέγγιση	61
4.4.2.5.3 Τρίτη προσέγγιση- Zambretti Forecaster	62
4.4.3 Περιγραφή Διαδικτυακής Εφαρμογής	64
4.4.3.1 Home	64
4.4.3.2 Dashboard συσκευής	65
4.4.3.2.1 Main tab	65
4.4.3.2.2 Weather Forecast Tab	68
4.4.3.2.3 Statistics Tab	69

4.1 Arduino

4.1.1 Σύνδεση στο The Things Network

Το πρώτο βήμα για την υλοποίηση της εφαρμογής ήταν η σύνδεση των συσκευών στο δίκτυο. Το The Things Network διαθέτει την βιβλιοθήκη TheThings.h για να διευκολύνει την σύνδεση και αποστολή δεδομένων από τις συσκευές στο δίκτυο. Για να συνδεθούν οι συσκευές στο δίκτυο πρέπει να εγγραφούν στην εφαρμογή που δημιουργήθηκε στο The Things Network για αυτό το σκοπό. Για την εγγραφή η εφαρμογή χρειάζεται το μοναδικό αριθμό της κάθε συσκευής. Έτσι χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό πρόγραμμα το οποίο επιστρέφει στο serial monitor το Device EUJ της συσκευής. Χρησιμοποιώντας το Device EUJ γίνεται η εγγραφή της συσκευής στην εφαρμογή. Στην συνέχεια η εφαρμογή παράγει τα απαραίτητα πεδία (appEUJ, appKey) που θα χρειαστεί η συσκευή για να συνδεθεί στο δίκτυο. Αυτά τα πεδία θα χρησιμοποιηθούν στο καινούργιο πρόγραμμα για να μπορέσει η συσκευή να ενωθεί στο δίκτυο και να αποστείλει δεδομένα στην εφαρμογή. Στη συνέχεια μεταφορτώθηκε στην συσκευή ένα άλλο πρόγραμμα όπου αφού δόθηκαν το appEUJ και το appKey έγινε έλεγχος αν η συσκευή επικοινωνούσε σωστά με την εφαρμογή. Τα αποτελέσματα εκτυπώνονταν στο serial monitor και έτσι ήταν εύκολο να ελεγχθεί αν η συσκευή επικοινωνεί με το δίκτυο.

4.1.2 Σύνδεση sensors στη συσκευή

Μετά την επιτυχή σύνδεση των συσκευών στο δίκτυο έπρεπε να συνδεθούν οι sensors στις συσκευές για να γίνονται οι μετρήσεις. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκαν δύο συσκευές με διαφορετικούς αισθητήρες.

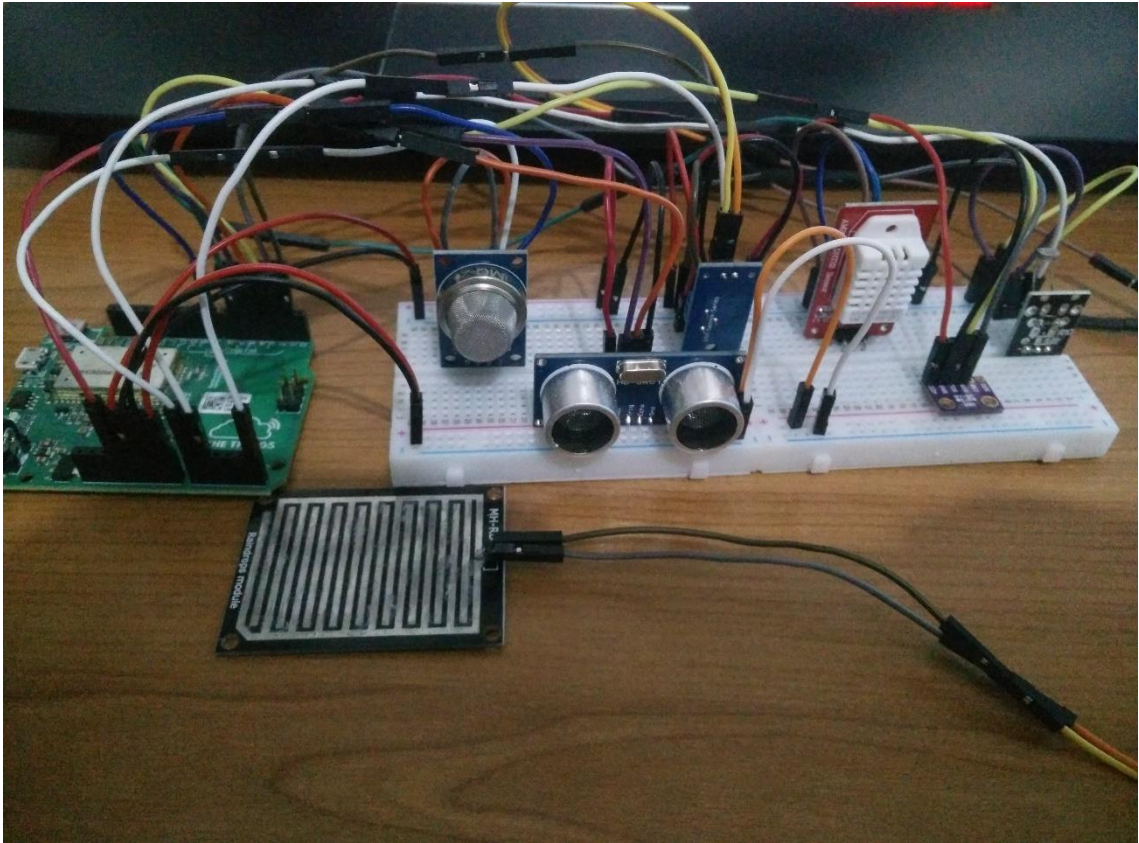
Στην πρώτη συσκευή η οποία τροφοδοτείται απευθείας από το δίκτυο ηλεκτρισμού τοποθετήθηκαν:

1. Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας
2. Αισθητήρας Ατμοσφαιρικής πίεσης
3. Αισθητήρας αερίων
4. Αισθητήρας Βροχής
5. Αισθητήρας απόστασης

Στην δεύτερη συσκευή που τροφοδοτείται από 6 AA μπαταρίες τοποθετήθηκαν:

1. Αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας
2. Αισθητήρας Ατμοσφαιρικής πίεσης

Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες εκτυπώνονταν στο serial monitor για να μπορεί να γίνει ο έλεγχος πως είναι συνδεδεμένα και λειτουργούν σωστά.



Σχήμα 4.1: Η πρώτη συσκευή με όλους τους αισθητήρες

4.2 Κωδικοποίηση και Αποκωδικοποίηση των δεδομένων

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 τα δεδομένα πρέπει να κωδικοποιηθούν σε μια σειρά από bytes για να αποσταλούν στην εφαρμογή, επίσης πρέπει να καταλαμβάνουν όσο το δυνατόν λιγότερο χώρο έτσι ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η ενέργεια που απαιτείτε για την αποστολή τους άλλα και για να αυξηθεί η χωρητικότητα του δικτύου. Επίσης κάθε συσκευή έχει διαφορετικούς αισθητήρες και με κάποιο τρόπο πρέπει να γνωρίζει η εφαρμογή τι sensors έχει η κάθε συσκευή

Πρόβλημα 1:

Τα δεδομένα πρέπει να καταλαμβάνουν όσο το δυνατό λιγότερο χώρο

Λύση:

Στόχος ήταν αν είναι δυνατόν κάθε μέτρηση να καταλαμβάνει ένα byte. Ένα byte όμως μπορεί να αναπαραστήσει τιμές από 0-255 έτσι έπρεπε να γίνει κάποια επεξεργασία στα δεδομένα από τις μετρήσεις.

Αρχικά μετατράπηκαν όσες μετρήσεις είχαν δεκαδικά σε ακέραιους αριθμούς, πολλαπλασιάζοντας τις τιμές με 10 ή 100 αναλόγως. Στην συνέχεια αφού έγινε έλεγχος στις πιθανές τιμές των αισθητήρων διαφάνηκε πως οι πλείστες δεν ξεπερνούσαν το 1000 έτσι πάρθηκε η απόφαση οι τιμές να διαιρούνται διά 4 και αφού στρογγυλοποιηθεί ο αριθμός να αποθηκεύεται σε ένα byte. Με αυτό τον τρόπο οι μετρήσεις κυμαίνονταν από 0-255, που επέτρεπε την αποθήκευσή τους ως ένα byte, ενώ και η απώλεια στην ακρίβεια των μετρήσεων είναι αμελητέα.

Ένα πρόβλημα που υπήρχε είναι πως ο αισθητήρας θερμοκρασίας μπορεί να δώσει και αρνητικές τιμές. Για να επιλυθεί αποφασίστηκε να περιοριστούν οι δυνατές τιμές του αισθητήρα από -30-60 °C, έτσι πριν γίνει η διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως προστίθεται στην μέτρηση ο αριθμός 30 για να μην υπάρχει αρνητική τιμή. Διαδικασία που θα αντιστραφεί στην αποκωδικοποίηση των δεδομένων για να μπορεί να στείλει και αρνητικές τιμές.

Ένα άλλο πρόβλημα που υπήρχε είναι πως ο αισθητήρας ατμοσφαιρικής πίεσης επιστρέφει τιμές από 300-1100hPa. Σε αυτή την περίπτωση αποφασίστηκε να αφαιρείται από την τιμή 300 και μετά να εφαρμόζεται η διαδικασία που αναφέρθηκε προηγουμένως.

Όταν τα δεδομένα φτάνουν στην εφαρμογή ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία στο payload decoder για να επιστρέψουν τα δεδομένα στην κανονική τους μορφή.

Παράδειγμα:

Ο μετρητής θερμοκρασίας μετρά θερμοκρασία 44,5 βαθμούς κελσίου. Στον αριθμό θα προστεθεί 30, δηλαδή 74,5. Ο αριθμός αυτός θα γίνει επί 10 έτσι ώστε να γίνει ακέραιος, δηλαδή 745. Μετά θα γίνει $745/4=186.25$ και θα στρογγυλοποιηθεί στον αριθμό 186.

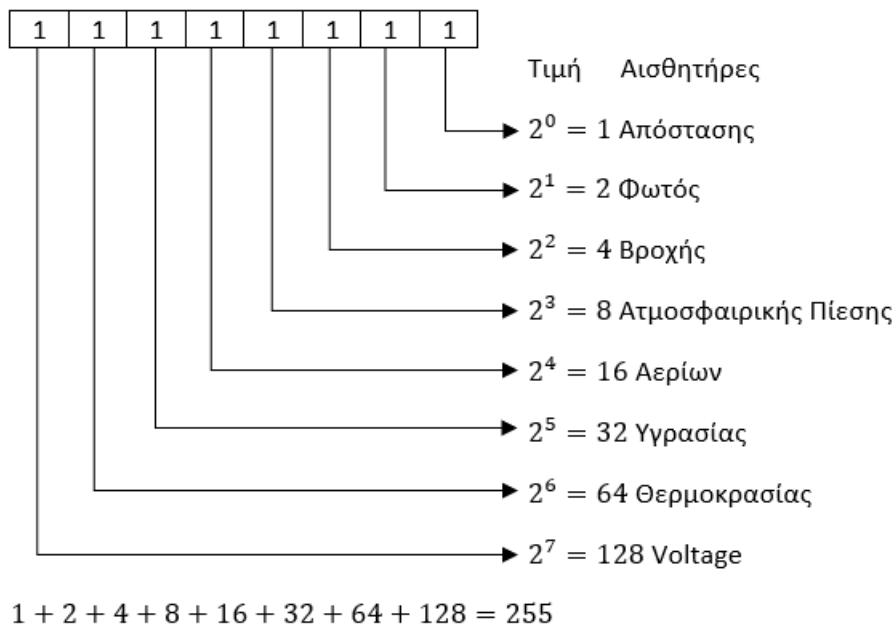
Ο αριθμός 186 θα φτάσει στην εφαρμογή. Η εφαρμογή θα κάνει $186*4=744$ και στην συνέχεια θα το διαιρέσει δια 10 και θα αφαιρέσει 30, δηλαδή θα γίνει $74,4-30=44.4$. Όπως φαίνεται στο παράδειγμα η διαφορά από την πραγματική μέτρηση είναι αμελητέα, ο αισθητήρας μέτρησε την θερμοκρασία 44,5 βαθμούς και στην εφαρμογή η μέτρηση έφτασε ως 44,4.

Πρόβλημα 2:

Κάθε συσκευή έχει διαφορετικούς αισθητήρες, με κάποιο τρόπο πρέπει να γνωρίζει η εφαρμογή τι αισθητήρες έχει η συγκεκριμένη συσκευή.

Λύση:

Για την επίλυση του προβλήματος επιλέγηκε να γίνεται η χρήση ενός έξτρα byte κατά την κωδικοποίηση. Ένα byte αποτελείται από 8 bits, σε αυτή την περίπτωση το κάθε bits αντιπροσωπεύει έναν αισθητήρα όπως φαίνεται στο σχήμα παρακάτω:



Σχήμα 4.2: Αντιστοιχία bit με αισθητήρα

Πίνακας 4.1: Η αντιστοιχία του κάθε αισθητήρα σε αριθμό με βάση το bit που του αντιστοιχεί.

Αισθητήρας	Τιμή
Voltage	128
Θερμοκρασίας	64
Υγρασίας	32
Αερίων	16
Ατμοσφαιρικής Πίεσης	8
Βροχής	4
Φωτός	2
Απόστασης	1

Όπως φαίνεται και στο σχήμα αυτό επιτρέπει 8 διαφορετικούς αισθητήρες, όμως δεν είναι δύσκολο να προστεθούν και άλλα bytes για να υποστηρίζονται επιπλέον αισθητήρες.

Η κάθε συσκευή το μόνο που έχει να κάνει είναι να θέσει την τιμή 1 στο bit που αντιστοιχεί στον συγκεκριμένο αισθητήρα. Δηλαδή κάθε συσκευή προσθέτει τους κατάλληλους αριθμούς, όπως φαίνονται στο πίνακα 4.1 πιο πάνω, που αντιστοιχούν στις μετρήσεις που θέλει να στείλει. Οι μετρήσεις πρέπει να τοποθετηθούν σε φθίνουσα σειρά στην ακολουθία από τα bytes, ξεκινώντας με τον αισθητήρα που έχει την μεγαλύτερη τιμή από το πίνακα 4.1.

Όταν η ακολουθία από bytes φτάσει στην εφαρμογή πρέπει να γίνει η αποκρυπτογράφηση. Το πρώτο byte μετατρέπεται σε ακέραιο για να καταδείξει τι μετρήσεις βρίσκονται μέσω στην ακολουθία από bytes. Ξεκινώντας από τον μεγαλύτερο αριθμό του πίνακα 4.1 ελέγχονται ένας-ένας οι αριθμοί με τον μετρητή. Αν ο μετρητής είναι μεγαλύτερος ή ίσος με τον αριθμό αυτό τότε το επόμενο byte αντιστοιχεί στην μέτρηση που αναφέρεται στο αντίστοιχο σημείο του πίνακα 4.1, έτσι το byte μετατρέπεται στην αντίστοιχη μέτρηση και αφαιρείται από τον μετρητή ο αριθμός που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο αισθητήρα. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να μηδενιστεί ο μετρητής.

Αυτός ο τρόπος προσφέρει την ευελιξία να προστίθενται και να αφαιρούνται αισθητήρες από τις συσκευές χωρίς περίπλοκες διαδικασίες.

Παράδειγμα:

Αν μια συσκευή θέλει να στείλει θερμοκρασία και υγρασία θα προσθέσει τον αριθμό 64 που αντιστοιχεί στον αισθητήρα της θερμοκρασίας με τον αριθμό 32 που αντιστοιχεί στον αισθητήρα της υγρασίας. Έτσι στο πρώτο byte θα βάλει την τιμή 96, στο δεύτερο την μέτρηση της θερμοκρασίας και στο τρίτο την μέτρηση της υγρασίας.

Όταν θα φτάσει η ακολουθία στην εφαρμογή το πρώτο byte θα μετατραπεί σε ακέραιο, δηλαδή στον αριθμό 96. Αυτός ο αριθμός δεν είναι μεγαλύτερος από 128 άρα η ακολουθία δεν συμπεριλαμβάνει μέτρηση voltage. Ο αριθμός είναι μεγαλύτερος από 64, άρα το επόμενο byte αντιστοιχεί σε θερμοκρασία. Έτσι το δεύτερο byte θα μετατραπεί σε θερμοκρασία και θα αφαιρεθεί από το μετρητή το 64, δηλαδή $96-64=32$. Στην συνέχεια το 32 ισούται με το 32 που αντιπροσωπεύει τον αισθητήρα της υγρασίας έτσι η εφαρμογή καταλαβαίνει πως το τελευταίο byte αντιστοιχεί στην μέτρηση της υγρασίας.

4.3 Υλοποίηση κώδικα και έλεγχος

Αφού επιλύθηκαν τα επιμέρους θέματα και πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος σύνδεσης της συσκευής στο δίκτυο και των αισθητήρων στη συσκευή, το επόμενο στάδιο ήταν να υλοποιηθεί και να μεταφορτωθεί ο τελικός κώδικας στις συσκευές που είναι υπεύθυνος να συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και να τα αποστέλλει στο The Things Network.

Για την δημιουργία του κώδικα υλοποιήθηκαν οι δύο βασικές μέθοδοι του Arduino: void setup() και void loop(), καθώς και κάποιες έξτρα μέθοδοι που είναι υπεύθυνες να παίρνουν τις μετρήσεις από τους αισθητήρες.

Η μέθοδος void setup() χρησιμοποιείται μια φορά μόνο στην αρχή όταν ενεργοποιείται η συσκευή με σκοπό να:

- Πραγματοποιήσει σύνδεση στο The Things Network. Χρησιμοποιώντας το appKey και appEUI η συσκευή προσπαθεί να πραγματοποιήσει σύνδεση στο δίκτυο

- Ενεργοποίηση των αισθητήρων. Σε κάποιους αισθητήρες χρειάζεται να γίνει μια αρχικοποίηση την πρώτη φορά που θα τρέξουν.
- Σύνδεση συσκευής με τον υπολογιστή. Με την εντολή `begin(mySerial)` αν είναι συνδεδεμένη με USB η συσκευή στον υπολογιστή μπορεί να γίνει παρακολούθηση των λειτουργιών της από το Serial Monitor.

Η μέθοδος `void loop()` χρησιμοποιείται έτσι ώστε να τρέχουν επαναλαμβανόμενα κάποιες εντολές στη συσκευή. Η μέθοδος εδώ χρησιμοποιείται για να καλεί τις μεθόδους που παίρνουν μετρήσεις από τους αισθητήρες και για να ετοιμάζει και να αποστέλλει τα δεδομένα στο δίκτυο. Η μέθοδος αυτή είναι προγραμματισμένη να τρέχει κάθε μία ώρα. Επίσης έχει προγραμματιστεί να κάνει δύο προσπάθειες να στείλει τα δεδομένα στο δίκτυο σε περίπτωση αποτυχίας, δηλαδή όταν δεν λάβει `acknowledge` από το gateway.

Για να πραγματοποιηθεί έλεγχος της σωστής λειτουργίας του συστήματος, δημιουργήθηκε με την χρήση της πλατφόρμας Cayenne μικρή εφαρμογή που παρουσίαζε τα δεδομένα που παραλαμβάνονταν από το The Things Network για κάθε συσκευή. Λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων της πλατφόρμας Cayenne χρησιμοποιήθηκε μόνο για τον αρχικό έλεγχο του project.

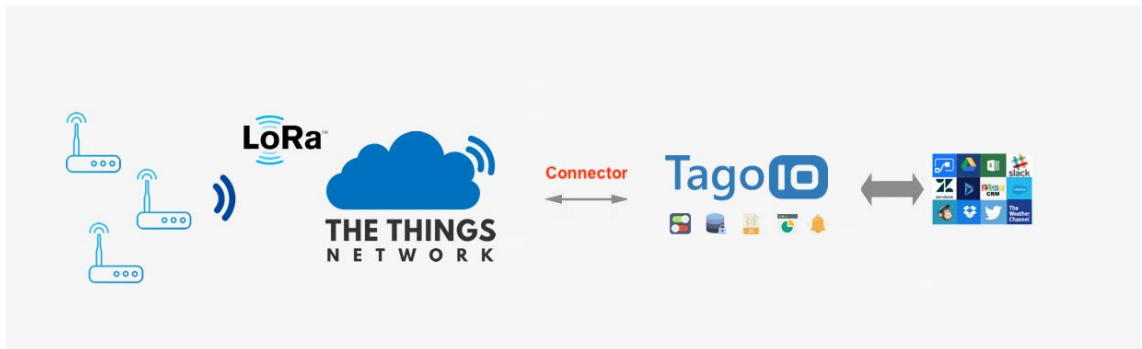
4.4 Διαδικτυακή Εφαρμογή

Βασισμένη στις απαιτήσεις που τέθηκαν η διαδικτυακή εφαρμογή αναπτύχθηκε στην πλατφόρμα tagoIO. Η εφαρμογή πρέπει να υποστηρίζει δύο είδη χρηστών, τους απλούς χρήστες-κάτοικους της πόλης και τους εργάτες του δήμου. Η εργάτες του δήμου θα έχουν την δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε όλα τα δεδομένα που έχουν πρόσβαση οι απλοί χρήστες συν κάποια επιπλέον δεδομένα.

4.4.1 Σύνδεση The Things Network – TagoIO

Το The Things Network όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 3 δίνει την δυνατότητα για εύκολη και γρήγορη σύνδεση με εξωτερικές πλατφόρμες με την χρήση του Integration. Επιλέγοντας το TagoIO Integration και ακολουθώντας τις οδηγίες η διαδικασία είναι αρκετά εύκολη.

Αρχικά δημιουργείται ένας λογαριασμός στο TagoIO και παράγεται ένα authorization key. Αυτό το κλειδί πρέπει να δοθεί στο TagoIO Integration της εφαρμογής στο The Things Network έτσι ώστε να επιτραπεί η σύνδεση των δύο πλατφόρμων. Στην συνέχεια ο χρήστης από την πλατφόρμα το TagoIO πρέπει να εισάγει τις συσκευές που θέλει να εμφανίζονται. Διαλέγει τι είδος συσκευής θέλει να συνδέσει στην πλατφόρμα και δίνει το DeviceEUI της συσκευής και έτσι ότι δεδομένα φτάνουν στην εφαρμογή στο The Things Network από τη συσκευή θα προωθούνται στο TagoIO. Για αποκρυπτογράφηση των δεδομένων που στέλνει η συσκευή χρησιμοποιείται ο decoder που δημιουργήθηκε στην εφαρμογή του The Things Network, το μόνο που χρειάζεται να γίνει στο TagoIO είναι να προστεθούν οι συντεταγμένες που βρίσκεται η συσκευή αφού η συσκευή δεν διαθέτει δέκτη GPS. Αυτό γίνεται πολύ εύκολα, στο πεδίο payload parser απλά προστίθενται τα ανάλογα πεδία.



Source: <https://docs.tago.io/en/articles/102-the-things-network-lorawan>

Σχήμα 3.7: The Things Network and TagoIO connection

4.4.2 Επεξεργασία των δεδομένων για εξαγωγή αποτελεσμάτων

Στα δεδομένα που στέλνει κάθε συσκευή πρέπει να γίνετε μια επεξεργασία έτσι ώστε να παράγονται χρήσιμα αποτελέσματα τα οποία θα παρουσιάζονται στους χρήστες της εφαρμογής. Η πλατφόρμα TagoIO δίνει την δυνατότητα να τρέξουν στην πλατφόρμα προγράμματα που είναι γραμμένα σε python και node.js, όμως δεν δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν εξωτερικές βιβλιοθήκες. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να γίνει η ανάπτυξη σε node.js αφού η πλατφόρμα

προσφέρει το εργαλείο tago-builder το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη τοπικά ενός προγράμματος που θα κάνει χρήση εξωτερικών βιβλιοθηκών και με την χρήση του εργαλείου αυτού γίνεται συνένωση του προγράμματος και των βιβλιοθηκών σε ένα αρχείο έτσι ώστε να μπορούν να τρέξουν στους servers του TagoIO. Παρακάτω αναλύονται τα προγράμματα που αναπτυχθήκαν για εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

4.4.2.1 Στατιστικά στοιχεία θερμοκρασίας και υγρασίας

Καλώντας τα ανάλογα queries το πρόγραμμα ζητάει από την βάση δεδομένων τα ανάλογα στοιχεία και τα αποθηκεύει σε καινούργιες μεταβλητές. Το πρόγραμμα έχει υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να υπολογίζει και να αποθηκεύει την μέγιστη, την ελάχιστη και την μέση τιμή για την θερμοκρασία και την υγρασία για τις τελευταίες 24 ώρες και για τις τελευταίες 7 μέρες για κάθε συσκευή. Το πρόγραμμα εκτελείται κάθε φορά που έρχονται καινούργια δεδομένα από την συσκευή.

4.4.2.2 Υπολογισμός του Heat Index

Ο υπολογισμός του heat index ή αλλιώς feel like temperature έγινε με βάση τον αλγόριθμο που αναλύθηκε στο σημείο 2.6.1. Το πρόγραμμα εκτελείται κάθε φορά που μια συσκευή στέλνει καινούργια δεδομένα.

4.4.2.3 Χρήση fuzzy logic

Για να γίνουν τα αποτελέσματα που παράγει η εφαρμογή «έξυπνα» χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του fuzzy logic. Δημιουργήθηκαν fuzzy data sets για την είσοδο και την έξοδο και τα κατάλληλα membership functions που αντιπροσωπεύουν το εύρος τιμών του κάθε fuzzy data set. Για την υλοποίηση χρησιμοποιήθηκαν το jsfuzz [28] για το fuzzification των δεδομένων και το es6-fuzz [29] για το defuzzification, δηλαδή την μετατροπή της εξόδου του προγράμματος σε μορφή κατανοητή προς το χρήστη.

4.4.2.3.1 Fuzzy Logic για ανίχνευση επικίνδυνων αερίων και φωτιάς

Αποφασίστηκε να γίνει χρήση του αισθητήρα αερίων και της θερμοκρασίας για να παρέχεται ειδοποίηση σε περίπτωση φωτιάς ή διαρροής αερίων. Επειδή ο αισθητήρας αερίων δεν μπορεί να ξεχωρίσει τα αέρια δεν υπάρχει τρόπος να διευκρινιστεί αν η ένδειξη του αισθητήρα αφορά καπνό άρα και κατά συνέπια πυρκαγιά. Για το σκοπό αυτό έγινε χρήση του Fuzzy Logic. Συγκεκριμένα σε περίπτωση πυρκαγιάς υπάρχει και αύξηση της θερμοκρασίας, έτσι όσο πιο μεγάλη είναι η αλλαγή στην θερμοκρασία και όσο πιο μεγάλη η ένδειξη του ανιχνευτή αερίων τόσο πιο πιθανόν να υπάρχει φωτιά. Ενώ υψηλή ένδειξη στο μετρητή αερίων χωρίς μεγάλη αύξηση στη θερμοκρασία είναι πιθανόν να οφείλεται σε διαρροή αερίων.

Χρησιμοποιήθηκαν δύο μεταβλητές στο πρόβλημα αυτό. Η πρώτη είναι η μέτρηση από τον ανιχνευτή αερίων και η δεύτερη η διαφορά της θερμοκρασίας, δηλαδή η διαφορά στην μέτρηση της θερμοκρασίας αυτή την στιγμή πλην την θερμοκρασία που μετρήθηκε πριν μία ώρα.

Χρησιμοποιήθηκαν τα εξής fuzzy data sets και membership functions:

- Για την μέτρηση αερίων:
 - LOW (0,100,150)
 - MEDIUM (100,150,300)
 - HIGH (150,300,600)
- Για την διαφορά θερμοκρασίας:
 - LOW (0,2,4)
 - MEDIUM (2,4,6)
 - HIGH (4,6,10)
- Για έξοδο:
 - NONE (0, 0.1, 0.2)
 - LGAS (0.15, 0.3, 0.45)
 - GAS (0.35, 0.5, 0.65)
 - LFIRE (0.6, 0.8, 0.85)
 - FIRE (0.75, 0.90, 1)

Σε περίπτωση που η διαφορά στη θερμοκρασία είναι αρνητική, δηλαδή μειώθηκε η θερμοκρασία σαν είσοδο θα δοθεί διαφορά θερμοκρασίας 0.

Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 9 (3^2) αφού οι δύο μεταβλητές εισόδου μπορούν να μετατραπούν σε τρία fuzzy data sets (Low, Medium, High). Οι κανόνες είναι οι ακόλουθοι:

Σημείωση:

Μεταβλητή 1= διαφορά θερμοκρασίας

Μεταβλητή 2= Μέτρηση αερίου

1. Αν η μεταβλητή 1 και 2 είναι LOW τότε είναι NONE
2. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW και 2 είναι MEDIUM τότε είναι LGAS
3. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW και 2 είναι HIGH τότε είναι GAS
4. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM και 2 είναι LOW τότε είναι NONE
5. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM και 2 είναι MEDIUM τότε είναι LGAS
6. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM και 2 είναι HIGH τότε είναι LFIRE
7. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH και 2 είναι LOW τότε είναι NONE
8. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH και 2 είναι MEDIUM τότε είναι LFIRE
9. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH και 2 είναι HIGH τότε είναι FIRE

Το αποτέλεσμα στη συνέχεια πρέπει να μετατραπεί σε λόγια για να μπορεί να παρουσιαστεί:

- NONE=> Nothing
- LGAS=> Possible small gas leakage
- GAS=> Possible gas leakage
- LFIRE=> Possible gas leakage or fire
- FIRE=> Fire

4.4.2.3.2 Fuzzy Logic για την κατάσταση του καιρού

Θεωρήθηκε χρήσιμο να γνωρίζουν οι χρήστες της εφαρμογής την κατάσταση του καιρού για αυτό αποφασίστηκε να γίνει χρήση fuzzy logic έτσι από τα δεδομένα να παράγονται αποφάσεις για το πως θα ένιωθε ένας άνθρωπος αν βρισκόταν σε αυτές

τις συνθήκες. Γενικά είναι δύσκολο να παρθούν αποφάσεις για τον καιρό αφού αλλάζει δυναμικά και επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές, δεν μπορεί να παρθεί απόφαση με απλή Boolean λογική για αυτό χρησιμοποιήθηκε fuzzy logic.

Για την εξαγωγή της απόφασης χρησιμοποιήθηκαν τρεις μεταβλητές. Χρησιμοποιήθηκε το Heat Index αφού συνδυάζει την θερμοκρασία και την υγρασία για να υπολογίσει πως θα αισθανόταν ένας άνθρωπος σε αυτές τις συνθήκες. Χρησιμοποιήθηκε η ατμοσφαιρική πίεση και η τάση-μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης τις τελευταίες τρεις ώρες αφού όπως αναλύθηκε και στο σημείο 2.5 είναι καλές ενδείξεις για την κατάσταση του καιρού. Συγκεκριμένα όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι ψηλότερη ο καιρός είναι καλός και πιο σταθερός, ενώ όταν είναι χαμηλότερη ο καιρός είναι άστατος. Επίσης όταν η τάση της ατμοσφαιρικής πίεσης είναι θετική, δηλαδή η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται, τότε ο καιρός βελτιώνεται, ενώ όταν μειώνεται ο καιρός χαλά.

Χρησιμοποιήθηκαν τα εξής fuzzy data sets και membership functions:

- Για το Heat Index:
 - LOW (0, 10, 20)
 - MEDIUM (15, 25, 35)
 - HIGH (25, 35, 45)
- Για την ατμοσφαιρική πίεση:
 - LOW (1000, 1006, 1013)
 - MEDIUM (1006, 1013, 1020)
 - HIGH (1013, 1020, 1027)
- Για την διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεση:
 - LOW (-5, -2.5, 0)
 - MEDIUM (-2.5, 0, 2.5)
 - HIGH (0, 2.5, 5)
- Για έξοδο:
 - VERY_BAD (0, 0.1, 0.2)
 - BAD (0.15, 0.3, 0.45)
 - GOOD (0.35, 0.5, 0.65)
 - HOT (0.6, 0.8, 0.85)

- VERY_HOT (0.75, 0.90, 1)

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία είναι αρνητική ή μεγαλύτερη από 45 βαθμούς, μετατρέπεται σε 0 και 45 αντίστοιχα. Η ατμοσφαιρική πίεση που χρησιμοποιείται έχει μετατραπεί στην αντίστοιχη σε επίπεδο θάλασσας έτσι ώστε να μην υπάρχει διαφορά λόγω υψομέτρου, όπως περιγράφεται στο 2.5.1.

Οι κανόνες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 27 (3³) αφού οι τρεις μεταβλητές εισόδου μπορούν να μετατραπούν σε τρία fuzzy data sets (Low, Medium, High). Οι κανόνες είναι οι ακόλουθοι:

Σημείωση:

Μεταβλητή 1= Heat Index

Μεταβλητή 2= Ατμοσφαιρική Πίεση

Μεταβλητή 3= Διαφορά Ατμοσφαιρικής πίεσης

1. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι LOW και 3 είναι LOW τότε είναι VERY_BAD
2. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι LOW και 3 είναι MEDIUM τότε είναι VERY_BAD
3. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι LOW και 3 είναι HIGH τότε είναι BAD
4. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι LOW τότε είναι BAD
5. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι MEDIUM τότε είναι BAD
6. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι HIGH τότε είναι GOOD
7. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι HIGH και 3 είναι LOW τότε είναι BAD
8. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι HIGH και 3 είναι MEDIUM τότε είναι BAD
9. Αν η μεταβλητή 1 είναι LOW, 2 είναι HIGH και 3 είναι HIGH τότε είναι GOOD
10. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι LOW και 3 είναι LOW τότε είναι VERY_BAD
11. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι LOW και 3 είναι MEDIUM τότε είναι BAD

12. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι LOW και 3 είναι HIGH τότε είναι GOOD
13. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι LOW τότε είναι BAD
14. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι MEDIUM τότε είναι GOOD
15. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι HIGH τότε είναι GOOD
16. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι HIGH και 3 είναι LOW τότε είναι GOOD
17. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι HIGH και 3 είναι MEDIUM τότε είναι HOT
18. Αν η μεταβλητή 1 είναι MEDIUM, 2 είναι HIGH και 3 είναι HIGH τότε είναι HOT
19. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι LOW και 3 είναι LOW τότε είναι BAD
20. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι LOW και 3 είναι MEDIUM τότε είναι BAD
21. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι LOW και 3 είναι HIGH τότε είναι GOOD
22. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι LOW τότε είναι GOOD
23. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι MEDIUM τότε είναι HOT
24. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι MEDIUM και 3 είναι HIGH τότε είναι HOT
25. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι HIGH και 3 είναι LOW τότε είναι VERY_HOT
26. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι HIGH και 3 είναι MEDIUM τότε είναι VERY_HOT
27. Αν η μεταβλητή 1 είναι HIGH, 2 είναι HIGH και 3 είναι HIGH τότε είναι VERY_HOT

Το αποτέλεσμα στη συνέχεια πρέπει να μετατραπεί σε λόγια για να μπορεί να παρουσιαστεί:

- VERY_BAD=> Very Bad
- BAD=> Bad
- GOOD=> Good
- HOT=> Hot
- VERY_HOT=> Very Hot
- Σε περίπτωση που η συσκευή έχει και αισθητήρα βροχής τότε προστίθεται και η ένδειξή του στο πιο πάνω αποτέλεσμα. Δηλαδή αν ο μετρητής:
 - ο Έχει τιμή μεταξύ 800 και 900 προστίθεται το “possible raining”
 - ο Έχει τιμή μεταξύ 500 και 800 προστίθεται το “raining”
 - ο Έχει τιμή μικρότερη από 500 προστίθεται το “heavy raining”

4.4.2.4 Υπολογισμός υψομέτρου

Κάποια από τα προγράμματα που επεξεργάζονται τα δεδομένα χρειάζονται το υψόμετρο που βρίσκεται η συσκευή. Αυτό το πρόγραμμα πρέπει να το τρέξει ο διαχειριστής της εφαρμογής την πρώτη φορά που θα εισάγει την συσκευή στην εφαρμογή ή όταν η συσκευή αλλάξει περιοχή.

Ο υπολογισμός του υψομέτρου από την ατμοσφαιρική πίεση γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Altitude = \frac{\left(\left(\frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1}{5.257}} - 1 \right) * (T + 273.15)}{0.0065}$$

Όπου $P_0=1013.25$ είναι η ουδέτερη πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, P είναι η πίεση που μετρήθηκε και T η θερμοκρασία στο σημείο της μέτρησης.

Το αποτέλεσμα μπορεί να διαφέρει μέχρι και 10m από το κανονικό υψόμετρο. Αν ο διαχειριστής γνωρίζει το ακριβές υψόμετρο μπορεί να το προσθέσει χειροκίνητα χωρίς να τρέξει το πρόγραμμα.

4.4.2.5 Πρόγνωση του καιρού

Όπως αναφέρθηκε και στο σημείο 2.5 στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας είναι απαραίτητο να υπάρχει μια τοπική πρόγνωση για το σημείο που είναι τοποθετημένη η συσκευή. Σκοπός είναι με την χρήση των αισθητήρων της συσκευής να παρέχεται πρόγνωση για τον καιρό. Για αυτό το σκοπό υλοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις-αλγόριθμοι για την πρόγνωση του καιρού.

4.4.2.5.1 Πρώτη προσέγγιση

Όπως αναφέρθηκε και στο σημείο 2.5 όταν η ατμοσφαιρική πίεση αυξάνεται τότε ο καιρός βελτιώνεται, δηλαδή είναι καλός-ηλιόλουστος, όταν μειώνεται ο καιρός χειροτερεύει, δηλαδή άστατος, ενώ όταν είναι σταθερή ο καιρός δεν μεταβάλλεται. Ενώ όσο πιο γρήγορα αυξάνεται ή μειώνεται τόσο πιο έντονα και τα φαινόμενα.

Αλγόριθμος:

1. Εύρεση της τάσης της ατμοσφαιρικής πίεσης. $DP = P_0 - P_3$

Όπου P_0 ατμοσφαιρική πίεση τώρα και P_3 η ατμοσφαιρική πίεση πριν 3 ώρες

2. Πρόγνωση:

- Αν DP μεταξύ -0.5 και 0.5: "Stable Weather"
- Αν DP μεταξύ 0.5 και 2.5:
"Slowly rising High Pressure System, stable good weather"
- Αν DP μεγαλύτερο από 2.5:
"Quickly rising High Pressure System, not stable"
- Αν DP μεταξύ -0.5 και -2.5:
"Slowly falling Low Pressure System, stable rainy weather"
- Αν DP μικρότερο από -2.5:
"Quickly falling Low Pressure System, Thunderstorm, not stable"

4.4.2.5.2 Δεύτερη προσέγγιση

Η πρώτη προσέγγιση ήταν αρκετά απλοϊκή και χρησιμοποιούσε μόνο την τάση της πίεσης. Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης και την συγκρίνει με την ουδέτερη ατμοσφαιρική πίεση. Αν η πίεση είναι μεγαλύτερη από την ουδέτερη τότε ο καιρός είναι ηλιόλουστος, αν είναι μικρότερη ο καιρός είναι

συννεφιασμένος-βροχερός, ενώ αν είναι κοντά στην ουδέτερη τότε έχει ήλιο και σύννεφα.

Αλγόριθμος:

1. Εύρεση ατμοσφαιρικής πίεσης
2. Μετατροπή πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας έτσι ώστε να εξαλειφθεί η επιρροή της θερμοκρασίας και του υψομέτρου:

Υπολογισμός της πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας (P_0):

$$P_0 = P \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15} \right)^{-5.257}$$

Όπου P_0 είναι η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, P είναι η πίεση που μετρήθηκε, h το υψόμετρο σε μέτρα που έγινε η μέτρηση και T η θερμοκρασία στο σημείο της μέτρησης.

3. Εύρεση της τάσης της ατμοσφαιρικής πίεσης. $DP = P_0 - P_{sea}$

Όπου $P_{sea} = 1013.25$ hPa που είναι η ουδέτερη πίεση στο επίπεδο της θάλασσας.

3. Πρόγνωση:

- Αν DP μεταξύ -0.5 και 0.5 : "Sun/Cloud"
- Αν DP μεγαλύτερο από 2.5 : "Sunny"
- Αν DP μικρότερο από -2.5 : "Cloud/Rain"

4.4.2.5.3 Τρίτη προσέγγιση- Zambretti Forecaster

Η Τρίτη προσέγγιση είναι ο Zambretti Forecaster που αναλύθηκε στο σημείο 2.5.1. Στην υλοποίηση για την διπλωματική γίνεται χρήση της ατμοσφαιρικής πίεσης και της εποχής.

Αλγόριθμος:

1. Υπολογισμός της πίεσης στο επίπεδο της θάλασσας (P_0):

$$P_0 = P \left(1 - \frac{0.0065h}{T + 0.0065h + 273.15} \right)^{-5.257}$$

Όπου P_0 είναι η πίεση στο επίπεδο της θάλασσας, P είναι η πίεση που μετρήθηκε, h το υψόμετρο σε μέτρα που έγινε η μέτρηση και T η θερμοκρασία στο σημείο της μέτρησης.

2. Εύρεση της τάσης της πίεσης

- Αν η πίεση μειώνεται υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 130 - \frac{Po}{81}$
- Αν η πίεση είναι σταθερή υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 147 - \frac{5Po}{376}$
- Αν η πίεση αυξάνετε υπολογίζουμε το νούμερο της πρόγνωσης: $Z = 179 - \frac{2Po}{129}$

3. Προσαρμόζουμε το Z για την εποχή

- Αν είναι χειμώνας (Οκτώβριος-Απρίλιο) $Z=Z-1$
- Αν είναι καλοκαίρι (Μάιος-Σεπτέμβριος) $Z=Z+1$

4. Βρίσκουμε την πρόγνωση με βάση τον πίνακα:

Forecast Number (Z)	Forecast
1	Settled Fine
2	Fine Weather
3	Fine Becoming Less Settled
4	Fairly Fine Showery Later
5	Showery Becoming more unsettled
6	Unsettled, Rain later
7	Rain at times, worse later.
8	Rain at times, becoming very unsettled
9	Very Unsettled, Rain
10	Settled Fine
11	Fine Weather
12	Fine, Possibly showers
13	Fairly Fine , Showers likely
14	Showery Bright Intervals
15	Changeable some rain
16	Unsettled, rain at times
17	Rain at Frequent Intervals

18	Very Unsettled, Rain
19	Stormy, much rain
20	Settled Fine
21	Fine Weather
22	Becoming Fine
23	Fairly Fine, Improving
24	Fairly Fine, Possibly showers, early
25	Showery Early, Improving
26	Changeable Mending
27	Rather Unsettled Clearing Later
28	Unsettled, Probably Improving
29	Unsettled, short fine Intervals
30	Very Unsettled, Finer at times
31	Stormy, possibly improving
32	Stormy, much rain

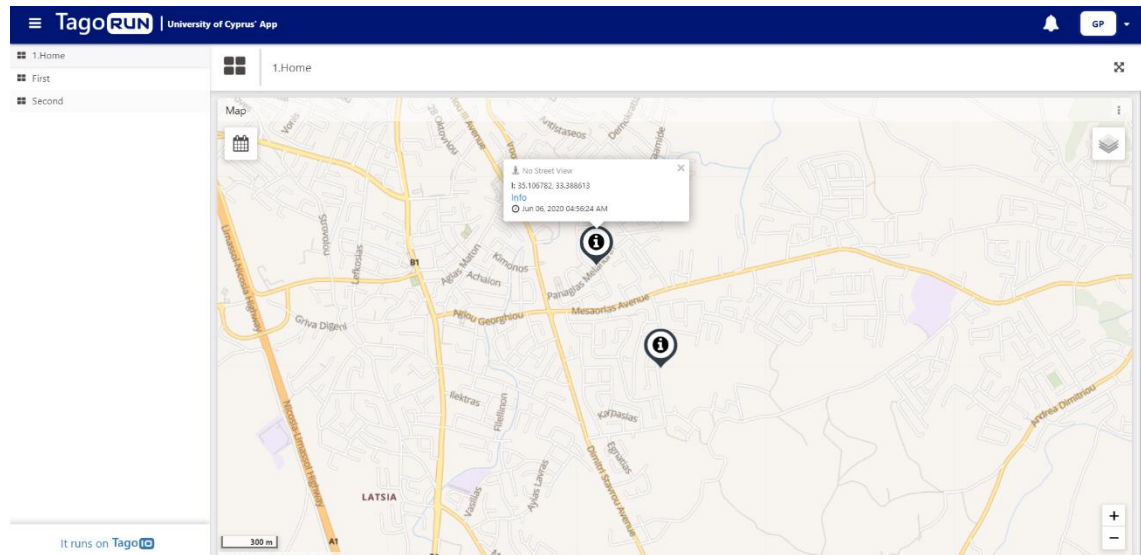
4.4.3 Περιγραφή Διαδικτυακής Εφαρμογής

Μετά την επιτυχή σύνδεση του TagoIO μαζί με το The Thinks Network και της δημιουργίας των προγραμμάτων για την επεξεργασία των δεδομένων έγινε η ανάπτυξη της διαδικτυακής εφαρμογής όπου θα παρουσιάζονται τα δεδομένα στους χρήστες. Λόγω του ότι η εφαρμογή υποστηρίζει δύο είδη χρηστών, απλούς πολίτες και εργαζόμενους του δήμου, έγινε η ανάπτυξη δύο πανομοιότυπων διεπιφανειών χρήστη μία για κάθε ομάδα. Όταν ένας χρήστης κάνει εγγραφή στο σύστημα τότε εισάγεται ως απλός πολίτης και στη συνέχεια μπορεί ο διαχειριστής της ιστοσελίδας να αλλάξει το είδος του έτσι ώστε να έχει πρόσβαση και στις υπόλοιπες λειτουργίες.

4.4.3.1 Home

Ο χρήστης μόλις συνδεθεί στην ιστοσελίδα θα μεταφερθεί σε αυτή την σελίδα. Είναι η αρχική σελίδα της εφαρμογής. Ο χρήστης βλέπει ένα χάρτη όπου είναι σημειωμένα πάνω όλα τα σημεία όπου υπάρχουν εγκατεστημένες συσκευές. Ο χρήστης επιλέγοντας ένα

σημείο βλέπει περισσότερες πληροφορίες για αυτό το σημείο ενώ πατώντας πάνω στο σύνδεσμο που του εμφανίζεται (“info”) θα μεταφερθεί στο dashboard της συγκεκριμένης συσκευής όπου μπορεί να δει αναλυτικά όλες τις πληροφορίες της συσκευής.



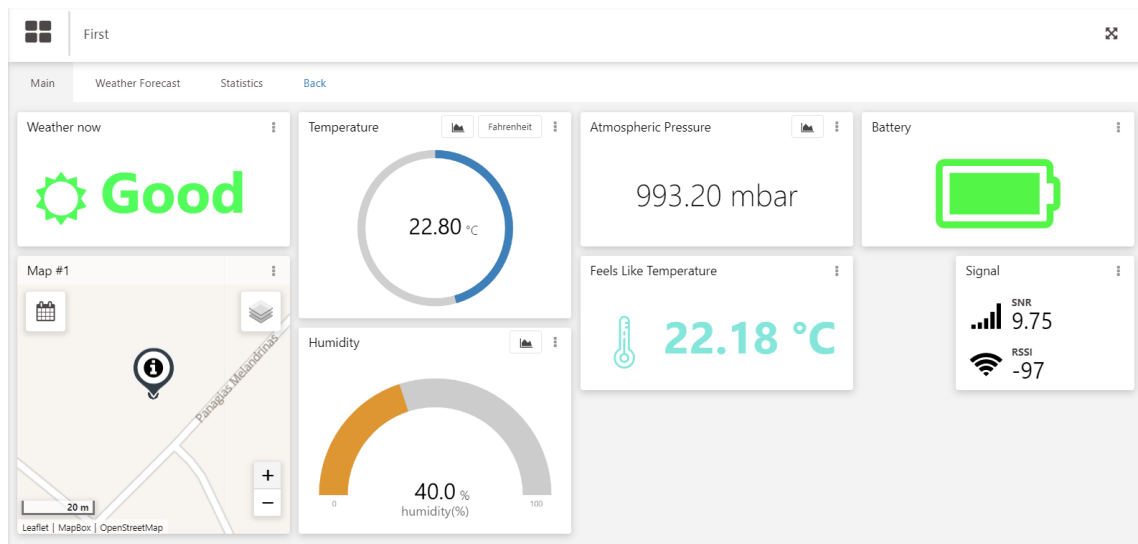
Σχήμα 4.3: Ο χάρτης με τις θέσεις που βρίσκονται οι συσκευές

4.4.3.2 Dashboard συσκευής

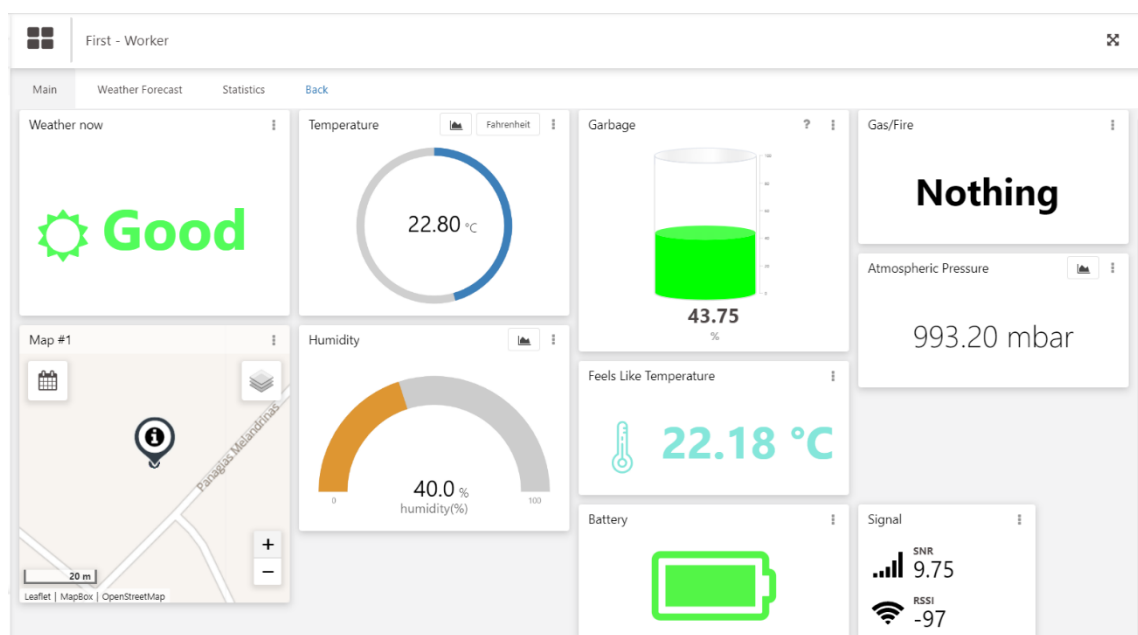
Επιλέγοντας ο χρήστης ένα σημείο μεταφέρεται σε αυτή την σελίδα όπου του παρουσιάζονται τα δεδομένα από τη συσκευή που επέλεξε.

4.4.3.2.1 Main tab

Ανάλογα με το είδος του χρήστη θα εμφανιστεί διαφορετικό Main tab. Ο απλώς χρήστης δεν έχει πρόσβαση στα δεδομένα για την πληρότητα του κάδου απορριμμάτων και για το αν υπάρχει πιθανή διαρροή αερίου ή φωτιά. Ο χρήστης βλέπει πληροφορίες από τους αισθητήρες για την συσκευή που επέλεξε, οι διαθέσιμες πληροφορίες διαφέρουν ανάλογα με τους αισθητήρες που υποστηρίζει η κάθε συσκευή.



Σχήμα 4.4: To Dashboard για απλό χρήστη



Σχήμα 4.5: To Dashboard για εργάτη του δήμου

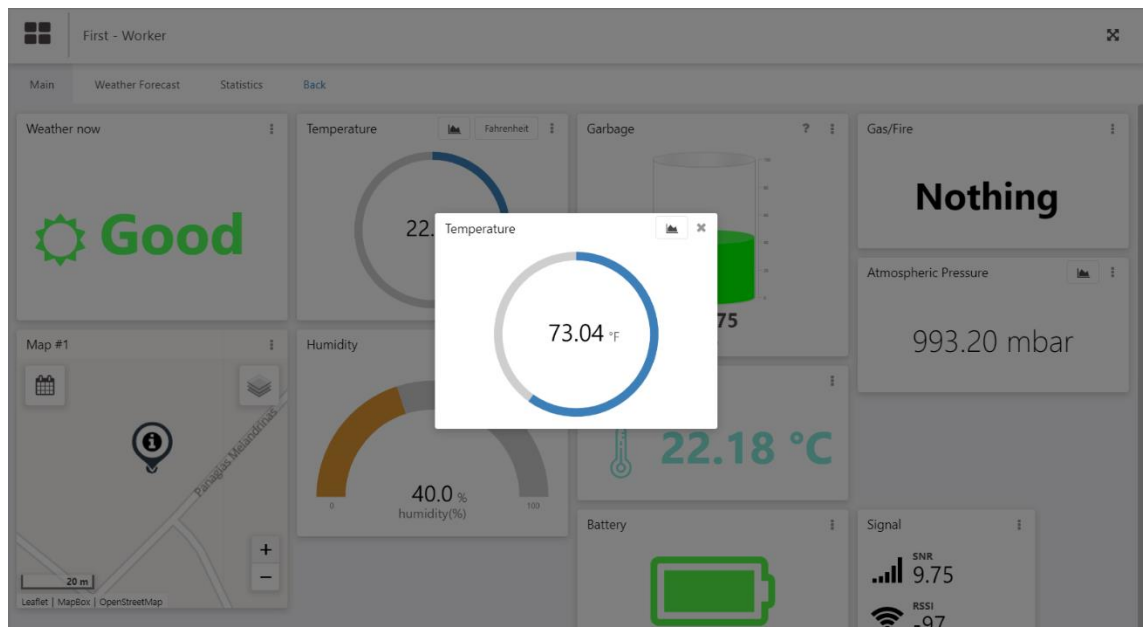
Ο χρήστης μπορεί να δει τα εξής:

- Εμφάνιση μηνύματος για τον καιρό που επικρατεί αυτή την στιγμή. Με βάση τον υπολογισμό που έγινε με την χρήση του fuzzy logic σημείο 4.4.2.3.2
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς κελσίου
- Ατμοσφαιρική πίεση

- Μίνι χάρτης με τις συντεταγμένες που βρίσκεται η συσκευή
- Υγρασία
- Feels like temperature. Δηλαδή το heat index που αναλύθηκε στο σημείο 4.4.2.2
- Το επίπεδο της μπαταρίας της συσκευής και πληροφορίες για την ποιότητα σύνδεσης
- (Μόνο για υπαλλήλους του δήμου) Επίπεδο πληρότητας του κάδου απορριμμάτων. Η εφαρμογή είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε να στέλνει email ή sms σε όλους τους υπαλλήλους του δήμου σε περίπτωση που η πληρότητα ξεπεράσει το 80%.
- (Μόνο για υπαλλήλους του δήμου) Μήνυμα αν υπάρχει πιθανή διαρροή αερίου ή φωτιάς. Με βάση τον υπολογισμό που έγινε με την χρήση του fuzzy logic σημείο 4.4.2.3.1. Η εφαρμογή είναι ρυθμισμένη έτσι ώστε να στέλνει email ή sms σε όλους τους υπαλλήλους του δήμου σε περίπτωση που υπάρχει κάποιο συμβάν.

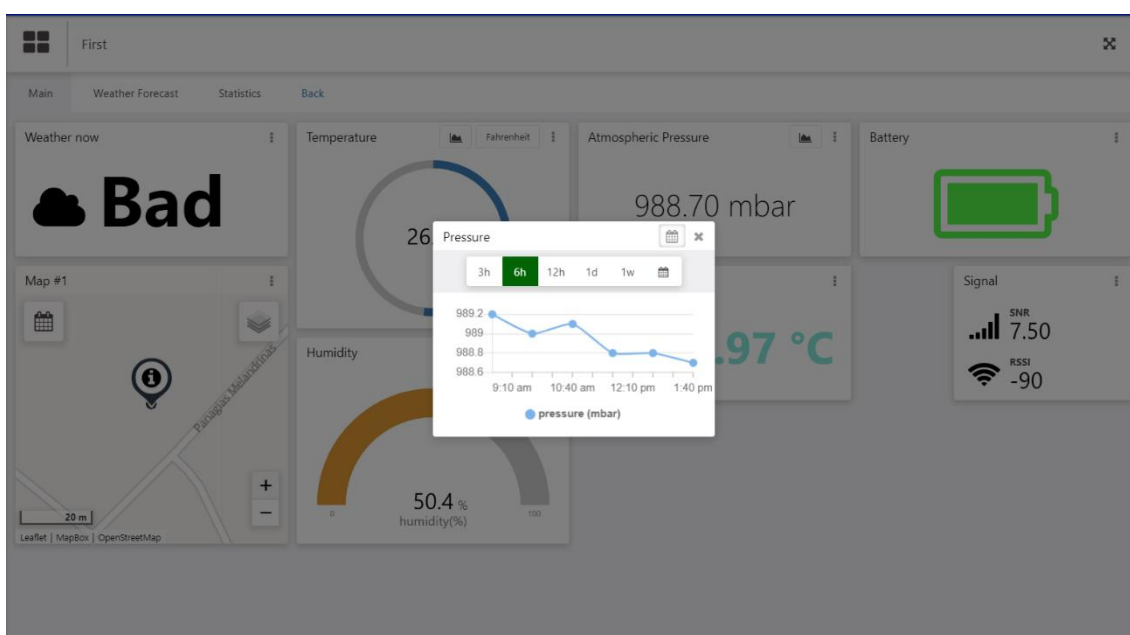
Οι ενέργειες που μπορεί να πραγματοποιήσει ο χρήστης είναι οι εξής:

- Μετατροπή θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε βαθμούς Fahrenheit. Ο χρήστης επιλέγοντας το κατάλληλο κουμπί πάνω από την θερμοκρασία μπορεί να δει την θερμοκρασία μετετρεμμένη σε Fahrenheit.



Σχήμα 4.6: Η θερμοκρασία σε Fahrenheit

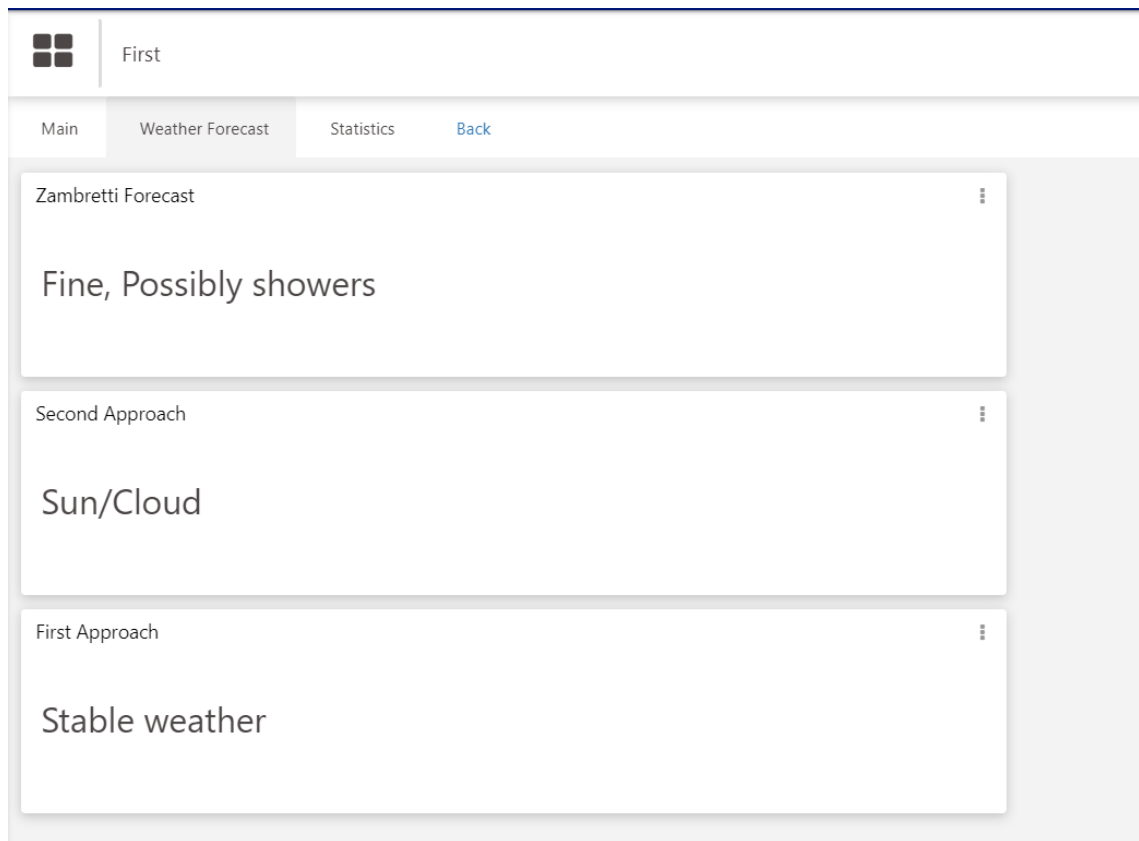
- Γραφική αναπαράσταση του ιστορικού διαφόρων μετρήσεων. Ο χρήστης επιλέγοντας το κατάλληλο κουμπί πάνω από τις μετρήσεις που το επιτρέπουν μπορεί να δει την γραφική αναπαράσταση. Οι μετρήσεις που το υποστηρίζουν είναι οι εξής: θερμοκρασία(κελσίου και Fahrenheit), υγρασία και ατμοσφαιρική πίεση. Επίσης έχει την δυνατότητα να προσαρμόσει το χρονικό περιθώριο που θέλει να δει με βάση τα προκαθορισμένα που υπάρχουν ή επιλέγοντας το εύρος από το ημερολόγιο.



Σχήμα 4.7: Γραφική αναπαράσταση των δεδομένων

4.4.3.2.2 Weather Forecast Tab

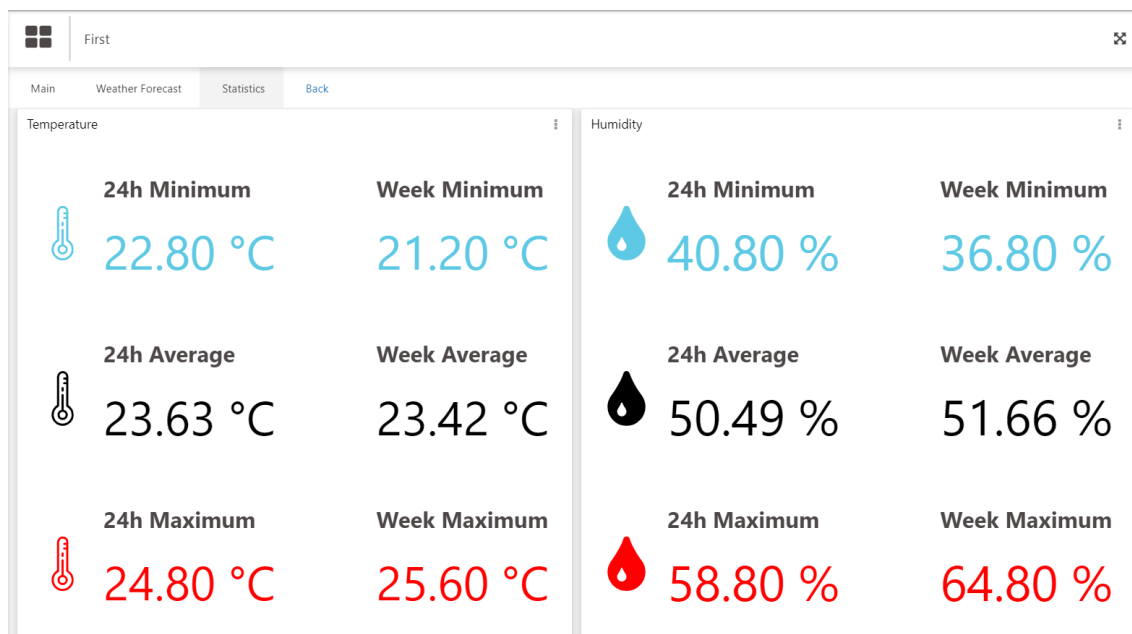
Το weather tab δημιουργήθηκε με σκοπό να δίνει στους χρήστες μια βραχύχρονη πρόγνωση του καιρού στο σημείο που βρίσκεται η συσκευή. Στο tab αυτό εμφανίζονται τα αποτελέσματα και από τους τρεις αλγορίθμους που αναλύθηκαν στο σημείο 4.4.2.5.



Σχήμα 4.8: Οι προβλέψεις του καιρού

4.4.3.2.3 Statistics Tab

Σε αυτό το tab ο χρήστης μπορεί να δει την μέγιστη, την ελάχιστη και την μέση θερμοκρασία και υγρασία που κατέγραψε η συγκεκριμένη συσκευή τις τελευταίες 24 ώρες και τις τελευταίες 7 μέρες.



Σχήμα 4.9: Στατιστικά για την θερμοκρασία και υγρασία

Link διαδικτυακής εφαρμογής: <https://5e862c2a90b30a001be27f4d.run.tago.io>

Κεφάλαιο 5

Αξιολόγηση

5.1 Αξιολόγηση αλγορίθμων πρόγνωσης του καιρού	71
5.2 Αξιολόγηση LoRaWAN	72
5.2.1 Time on Air	73
5.3.2 Εμβέλεια	74

5.1 Αξιολόγηση αλγορίθμων πρόγνωσης του καιρού

Σημαντικό κομμάτι της διπλωματικής εργασίας ήταν η αξιολόγηση των αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόγνωση του καιρού. Ήταν σημαντικό να ελεγχθεί αν οι αλγόριθμοι επιστρέφουν σωστές προγνώσεις και ποιος αλγόριθμος έχει την καλύτερη ακρίβεια.

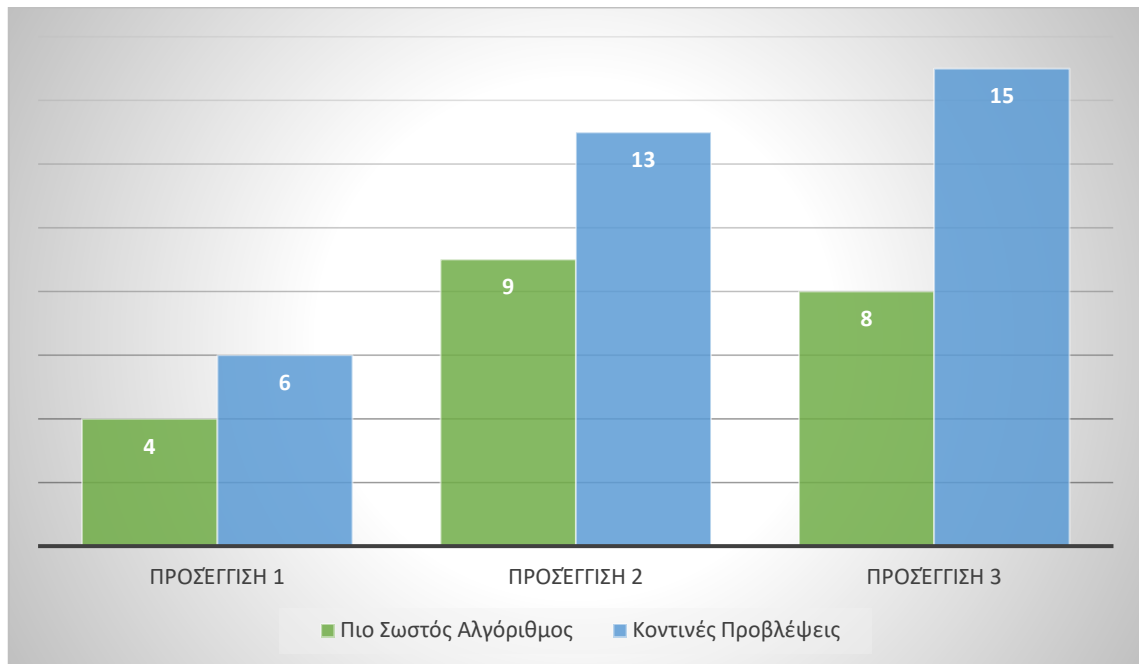
Η αξιολόγηση έγινε με την καταγραφή των προβλέψεων και του καιρού. Συγκεκριμένα για μία βδομάδα, τρεις φορές την μέρα καταγράφονταν οι προβλέψεις των αλγορίθμων και με την πάροδο τριών ωρών ελέγχονταν σε αντιπαραβολή με τον καιρό που επικρατούσε. Οι προβλέψεις καταγράφονταν τις ώρες 09:00, 15:00, 18:00, ενώ ο καιρός τις ώρες 12:00, 18:00, 21:00. Συνολικά καταγράφηκαν οι αλγόριθμοι 21 φορές.

Καταγραφή της πιο σωστής πρόβλεψης

Αρχικά καταγραφόταν ποιος αλγόριθμος έδινε το πιο σωστό αποτέλεσμα με βάση τον καιρό που επικρατούσε εκείνη την στιγμή. Όπως φαίνεται και στη γραφική (5.1) ο πρώτος αλγόριθμος είχε την πιο σωστή πρόβλεψη 4 από τις 21 φορές, ο δεύτερος αλγόριθμος 9 και ο τρίτος (zambretti) 8 φορές.

Καταγραφή κοντινών προβλέψεων

Εκτός από το ποιος αλγόριθμος έδινε την πιο σωστή πρόγνωση σημαντικό ήταν να ελεγχθεί και πόσες φορές κάθε αλγόριθμος έδινε κοντινές προβλέψεις στον πραγματικό καιρό. Όπως φαίνεται και στη γραφική (5.1) ο πρώτος αλγόριθμος είχε κοντινές προβλέψεις 6 στις 21 φορές, ο δεύτερος 13 και ο τρίτος 15 φορές.



Σχήμα 5.1: Αποτελέσματα από τις μετρήσεις για τον καιρό

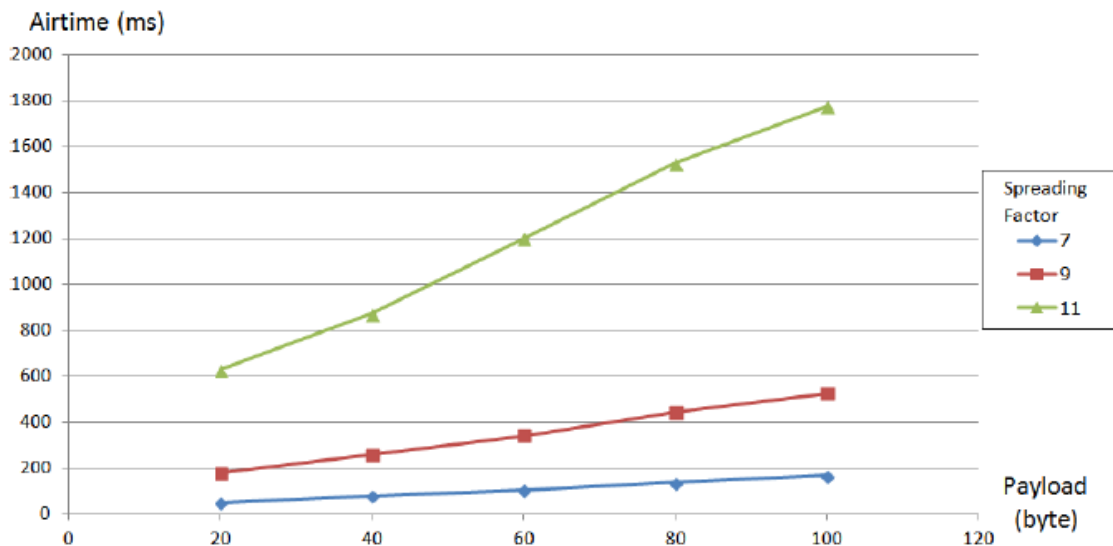
5.2 Αξιολόγηση LoRaWAN

Στα πλαίσια της διπλωματικής ήταν αναγκαίο να γίνει αξιολόγηση της τεχνολογίας σύνδεσης που επιλέγηκε έτσι ώστε να ελεγχτεί ότι τηρά τις προδιαγραφές για την ανάπτυξη του συστήματος. Αρχικά έγινε αξιολόγηση του Time on Air των μηνυμάτων, δηλαδή τον χρόνο που χρειάζεται η συσκευή για να εκπέμψει ένα μήνυμα και στην συνέχεια αξιολογήθηκε η εμβέλεια του δικτύου.

5.2.1 Time on Air

Το Time on Air είναι ο χρόνος που χρειάζεται η συσκευή για να εκπέμψει ένα μήνυμα. Είναι μία σημαντική παράμετρος αφού επηρεάζει την χωρητικότητα του δικτύου, αφού το μήνυμα βρίσκεται περισσότερο χρόνο στον αέρα. Όσο μεγαλύτερο το Time on Air και όσα περισσότερα μηνύματα στέλνει μια συσκευή τόσο μικρότερη είναι η χωρητικότητα του δικτύου, άρα και λιγότερες συσκευές.

Για την αξιολόγηση ελέγχτηκε το Time on Air για Spreading Factors 7, 9, 11 και για payloads με μέγεθος από 20-100 bytes, τα αποτελέσματα φαίνονται στην γραφική που ακολουθεί



Σχήμα 5.2: Time-on-Air για διαφορετικά SF και payloads

5.2.2 Εμβέλεια

Η εμβέλεια του δικτύου είναι ένας σημαντικός παράγοντας αφού θα επηρεάσει τον αριθμό των gateways που θα χρειαστούν για την ανάπτυξη του συστήματος. Για τον έλεγχο της εμβέλειας χρησιμοποιήθηκε spreading factor 11, bandwidth 125kHz και coding rate 4/5, ενώ το gateway τοποθετήθηκε 6 μέτρα πάνω από το έδαφος.

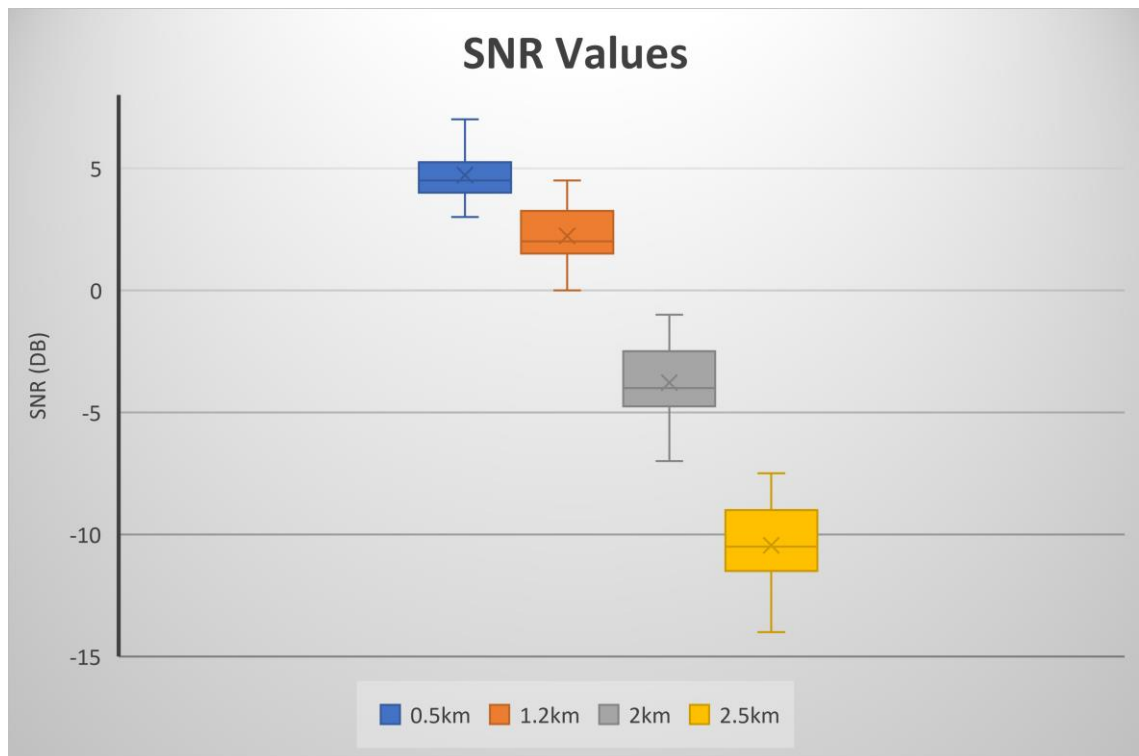
Στην αρχή έγινε έλεγχος σε κατοικημένη περιοχή. Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν πως λόγω της ιδιομορφίας μιας πόλης, των πολλών εμποδίων και της υψομετρικής διαφοράς τα αποτελέσματα δεν είχαν συνοχή. Δηλαδή υπήρχαν περιπτώσεις όπου σε κοντινές αποστάσεις δεν ήταν δυνατή η επικοινωνία, ενώ σε πιο μακρυνες περιοχές που βρίσκονταν σε κάποιο ύψωμα ή δεν είχαν πολλά εμπόδια γύρω ήταν δυνατή η επικοινωνία. Γενικά το σήμα επηρεάζεται αρκετά από την μορφολογία της γύρω περιοχής

Στην συνέχεια αποφασίστηκε να γίνει έλεγχος σε μη πυκνοκατοικημένη περιοχή έτσι ώστε να ελεγχτεί η εμβέλεια όταν υπάρχει line of sight, δηλαδή όταν δεν υπάρχουν εμπόδια μεταξύ πομπού και δέκτη. Πάρθηκαν μετρήσεις σε απόσταση 0.5km, 1.2km, 2km, 2.5km. Από την κάθε θέση στάλθηκαν 60 πακέτα και μετρήθηκε το SNR των πακέτων που έφθασαν στο gateway και το ποσοστό των χαμένων πακέτων.

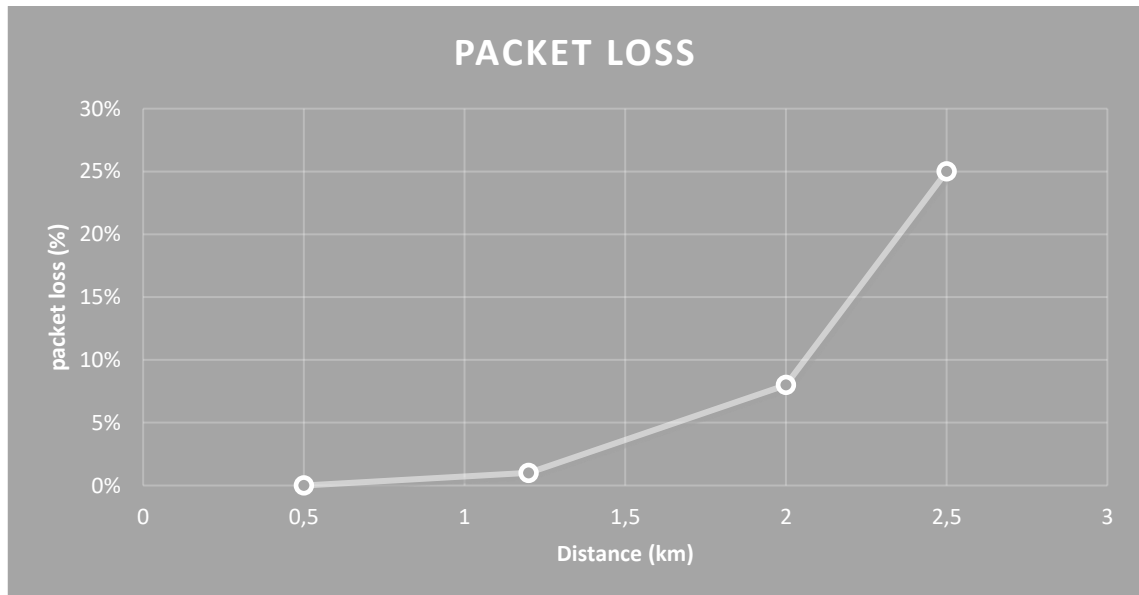


Σχήμα 5.3: Χάρτης από τις τοποθεσίες που πάρθηκαν μετρήσεις

Signal to Noise Ratio, SNR, είναι το ποσοστό του σήματος σε σχέση με τον θόρυβο που φτάνει στο gateway εκφρασμένο σε decibel. Θετικό SNR συνεπάγεται πως το σήμα ήταν περισσότερο από τον θόρυβο. Παρόλο που κάποιες φορές το SNR (σχήμα 5.4) ήταν αρνητικό το gateway ήταν σε θέση να αναγνωρίσει το πακέτο, αυτό οφείλεται στο spread spectrum modulation που χρησιμοποιεί το LoRa αφού δίνει μεγάλη ανεκτικότητα στο θόρυβο και σε παρεμβολές.



Σχήμα 5.4: SNR results



Σχήμα 5.5: Packet Loss results

Κεφάλαιο 6

Συμπεράσματα και Μελλοντικά Σχέδια

6.1 Συμπεράσματα	76
6.1.1 Συμπεράσματα αλγορίθμων πρόβλεψης του καιρού	76
6.1.2 Συμπεράσματα LoRaWAN δικτύου	77
6.1.3 Γενικά Συμπεράσματα	77
6.2 Μελλοντικά Σχέδια	79
6.2.1 Δίκτυο	79
6.2.1.1 Gateways	79
6.2.1.2 Ανάπτυξη Ανεξάρτητου Δικτύου	79
6.2.2 Συσκευές	80
6.2.3 Αισθητήρες	80
6.2.4 Machine Learning	81

6.1 Συμπεράσματα:

6.1.1 Συμπεράσματα αλγορίθμων πρόβλεψης του καιρού

Μετά την αξιολόγηση των αλγορίθμων διαφάνηκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Ο πρώτος αλγόριθμος δεν είναι καθόλου ακριβείς. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού ο αλγόριθμος αυτός ελέγχει μόνο την τάση της ατμοσφαιρικής πίεσης και όχι την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί εκείνη τη στιγμή
2. Ο δεύτερος αλγόριθμος χρησιμοποιούσε την ατμοσφαιρική πίεση που επικρατούσε εκείνη την στιγμή και είχε αρκετά καλές προβλέψεις. Όμως λόγω του ότι δεν χρησιμοποιούσε την τάση της ατμοσφαιρικής πίεσης αρκετές φορές δυσκολευόταν να προβλέψει πως θα εξελιχθεί ο καιρός. Για παράδειγμα αν η ατμοσφαιρική πίεση ήταν πάνω από την ουδέτερη αλλά μειωνόταν δεν μπορούσε

να προβλέψει πως ο καιρός θα χειροτερέψει. Επίσης λόγω του ότι είχε πολύ λίγες πιθανές προβλέψεις έδινε αρκετά γενικά αποτελέσματα.

3. Η Τρίτη προσέγγιση, ο αλγόριθμος Zambretti, έδινε αρκετά καλές προβλέψεις. Όμως λόγω των παραμέτρων που χρησιμοποιούσε ήταν σε θέση να δίνει πιο ακριβείς προβλέψεις. Το μόνο πρόβλημα είναι πως λόγω του μεγάλου φάσματος πιθανών προβλέψεων και της πολυπλοκότητας του κάποιες φορές όταν έκανε λάθος η πρόβλεψη του απείχε αρκετά από την πραγματική κατάσταση του καιρού.

6.1.2 Συμπεράσματα LoRaWAN δικτύου

Μέσα από την αξιολόγηση του δικτύου πάρθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Όσο αυξάνεται το Spreading Factor, αυξάνεται και η εμβέλεια επικοινωνίας αφού το σήμα είναι πιο ανθεκτικό σε παρεμβολές και θόρυβο. Όμως ταυτόχρονα αυξάνεται ο χρόνος για την αποστολή του μηνύματος (Time on Air) αλλά και η ενέργεια που απαιτείται για την αποστολή του και μειώνεται η χωρητικότητα του δικτύου. Για αυτό θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή του spreading factor που θα χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να είναι εφικτή η επικοινωνία της συσκευής με το gateway, χωρίς όμως να γίνεται αχρείαστη σπατάλη ενέργειας.
- Όπως παρατηρήθηκε και στον έλεγχο που έγινε εντός πόλης η ποιότητα του σήματος επηρεάζεται αρκετά από το περιβάλλον, δηλαδή αν υπάρχουν κτήρια και άλλα εμπόδια στην περιοχή. Το ιδανικό θα ήταν να υπάρχει line of sight μεταξύ πομπού και δέκτη ή να τοποθετούνται σε ψηλό σημείο για να μειώνονται τα εμπόδια στην επικοινωνία.
- Όσο αυξάνεται η απόσταση υπάρχει και λογαριθμική μείωση του SNR και κατεπέκταση αύξηση των χαμένων πακέτων αφού αυξάνεται ο θόρυβος στα πακέτα.

6.1.3 Γενικά Συμπεράσματα

Μέσω της ανάπτυξης και της χρήσης του συστήματος διαφάνηκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Μπαταρία

- Παρόλη την καθημερινή χρήση των συσκευών για περισσότερο από δύο μήνες που ήταν εγκατεστημένες και έστελναν δεδομένα η μπαταρία διατηρήθηκε σε αρκετά ψηλά επίπεδα
- Είναι σημαντικό η στάθμη της μπαταρίας να μην είναι πολύ χαμηλή. Έχει παρατηρηθεί πως όταν η μπαταρία κοντεύει να αδειάσει επηρεάζεται η ακρίβεια και η ποιότητα των μετρήσεων

2. Arduino και αισθητήρες

- Παρατηρήθηκε πως οι συσκευές παρουσιάζουν προβλήματα υπερθέρμανσης. Είναι καλό να διατηρούνται σε σταθερή θερμοκρασία, για να μην επηρεάζεται το προσδόκιμο ζωής των συσκευών και η ακρίβεια των μετρήσεων. Είναι χρήσιμο να κατασκευαστεί ένα κουτί που θα διατηρούσε τις συσκευές σε καλή θερμοκρασία
- Το Arduino έχει περιορισμένο χώρο αποθήκευσης για τον κώδικα. Για αυτό το σκοπό πρέπει το πρόγραμμα να υλοποιηθεί με βέλτιστο τρόπο για να μην γίνεται σπατάλη χώρου
- Θα πρέπει να γίνεται προσεκτική επιλογή των αισθητήρων σε κάθε συσκευή αφού υπάρχει περιορισμένος αριθμός I/O pins σε κάθε Arduino. Επίσης όσοι περισσότεροι αισθητήρες τοποθετούνται σε μία συσκευή η κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται.

3. Προδιαγραφές. Έχουν τηρηθεί όλες οι προδιαγραφές που τέθηκαν

- Χαμηλό κόστος: Οι συσκευές και οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν πολύ χαμηλό κόστος. Ακόμη το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι κυρίως δωρεάν.
- Επεκτασιμότητα: Το δίκτυο αλλά και η εφαρμογή αναπτύχθηκαν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να υποστηρίζεται η προσθήκη καινούργιων συσκευών
- Ευελιξία: Το σύστημα σχεδιάστηκε για να προσφέρει την δυνατότητα σύνδεσης συσκευών με διαφορετικούς αισθητήρες, ενώ είναι εύκολο να επεκταθεί ώστε να υποστηρίξει και άλλους αισθητήρες
- Ευχρηστία: Το σύστημα σχεδιάστηκε έτσι ώστε να είναι εύκολο στη χρήση, ενώ η διαδικτυακή εφαρμογή είναι απλή στη χρήση από όλους τους πιθανούς χρήστες.

- Διαθεσιμότητα: Η διαδικτυακή εφαρμογή είναι διαθέσιμη στο διαδίκτυο
- Εγκυρότητα δεδομένων: Τα δεδομένα από τους αισθητήρες έχουν ελεγχτεί ότι είναι ορθά

6.2 Μελλοντικά Σχέδια

6.2.1 Δίκτυο

Μέσα από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε πάρθηκαν κάποιες αποφάσεις σχετικά με την μελλοντική ανάπτυξη της εφαρμογής και τις ανάγκες δικτύου που θα έχει.

6.2.1.1 Gateways

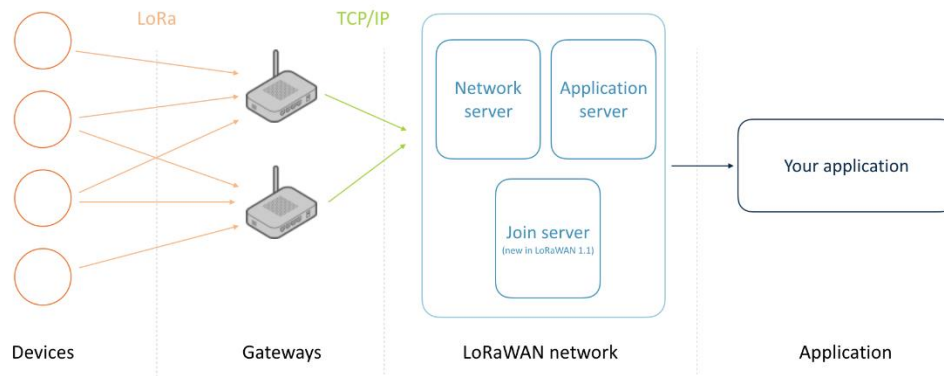
Όπως διαφάνηκε από την μέχρι τώρα ανάπτυξη του δικτύου με τον τρόπο που αποστέλλουν δεδομένα οι συσκευές, δηλαδή μια φορά ανά ώρα και μόνο μερικά bytes, είναι απίθανο να χρειαστεί να γίνει χρήση δεύτερου gateway που θα καλύπτει την ίδια περιοχή.

Όσο αφορά την τοποθέτηση των gateways για την κάλυψη μιας πόλης αυτή θα είναι μια δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία. Αφού όπως διαφάνηκε το σήμα επηρεάζεται αρκετά από το περιβάλλον και έτσι είναι δύσκολο να επιτευχθεί η απόδοση που υποστηρίζει ο κατασκευαστής. Ανάλογα με τα σημεία που θα γίνει η εγκατάσταση των συσκευών πρέπει να γίνεται και ξεχωριστός έλεγχος για τον προσδιορισμό των βέλτιστων σημείων για τοποθέτηση των gateways. Σε γενικές γραμμές όμως, για περιοχές όπως η πανεπιστημιούπολη ή η περιοχή της Λύδρας και της Φανερωμένης χρειάζεται η ανάπτυξη μόνο ενός gateway.

6.2.1.2 Ανάπτυξη Ανεξάρτητου Δικτύου

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας έγινε ανάπτυξη ιδιωτικού δικτύου, όμως όλες οι υπηρεσίες παρέχονταν από το The Things Network. Θα μπορούσε να γίνει ανάπτυξη ανεξάρτητου τελείως δικτύου αφού η τεχνολογία LoRaWAN είναι προσβάσιμη στον καθένα, ενώ είναι εύκολα διαθέσιμα και χαμηλού κόστους τα LoRa modules για την ενσωμάτωση σε συσκευές που αποστέλλουν τα δεδομένα και την κατασκευή gateways.

Το δύσκολο στο όλο εγχείρημα είναι να αντικατασταθούν οι υπηρεσίες που προσφέρει το The Things Network, δηλαδή το network server, join server και το application server. Όλα αυτά θα πρέπει να αναπτυχθούν από τον κατασκευαστή του δικτύου, όπως επίσης θα πρέπει να γίνει χειροκίνητα η σύνδεση με την πλατφόρμα TagoIO.



Source: <https://os.mbed.com/docs/mbed-os/v5.15/tutorials/LoRa-tutorial.html>

Σχήμα 6.1: Topology of a LoRa network

6.2.2 Συσκευές

Το πρώτο βήμα είναι η κατασκευή ενός κουτιού, πιθανότατα με 3D printer, έτσι ώστε να προστατεύεται η συσκευή και οι αισθητήρες από το περιβάλλον και να αποφευχθεί η υπερθέρμανση τους το καλοκαίρι. Επίσης είναι χρήσιμο να γίνει χρήση ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου για αύξηση της αυτονομίας των συσκευών.

Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει η ανάπτυξη των συσκευών σε διάφορες τοποθεσίες η οποία λόγω περιορισμένων πόρων αλλά και της έξαρσης της επιδημίας COVID-19 δεν πραγματοποιήθηκε.

Είναι χρήσιμο ακόμη να γίνει έλεγχος και άλλων αντενών εκτός της ενσωματωμένης που έχει το The Things Uno που προσφέρουν μεγαλύτερη εμβέλεια.

6.2.3 Αισθητήρες

Το σύστημα που αναπτύχθηκε υποστηρίζει μέχρι 8 μετρήσεις. Για την υποστήριξη περισσότερων αισθητήρων υπάρχουν δύο προσεγγίσεις

1. Χρήση έξτρα bytes. Στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε γίνεται η χρήση ενός byte για να μπορεί να ξεχωρίσει η εφαρμογή τι μετρήσεις στέλνει η συσκευή. Είναι εύκολο να τοποθετηθούν επιπλέον bytes έτσι ώστε να υποστηρίζονται περισσότερες μετρήσεις, για κάθε 8 μετρήσεις χρειάζεται ένα byte.
2. Η προσέγγιση με τα bytes είναι εφικτή για μερικούς αισθητήρες. Αν χρειαστεί να υποστηρίζονται πάρα πολλές μετρήσεις η χρήση επιπλέον bytes δεν θα είναι εφικτή. Για αυτό το σκοπό θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός των συσκευών και να αναπτυχθούν ξεχωριστές εφαρμογές στο επίπεδο του The Things Network όπου η κάθε μία θα χειρίζεται και μια ομάδα συσκευών. Στη συνέχεια όλες οι εφαρμογές θα καταλήγουν στην ίδια εφαρμογή στο tagoIO.

6.2.4 Machine Learning

Στα μελλοντικά σχέδια είναι η ανάπτυξη ενός μοντέλου μηχανικής μάθησης για καλύτερη πρόβλεψη του καιρού. Η ανάπτυξη ενός τέτοιου μοντέλου για να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα πρέπει να συλλεχθούν αρκετά δεδομένα από τους αισθητήρες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Για αυτό το σκοπό ήδη οι μετρήσεις από τους αισθητήρες αποθηκεύονται για να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ανάπτυξη ενός τέτοιου συστήματος.

Βιβλιογραφία

- [1] Blenn, Norbert and Fernando A. Kuipers. "LoRaWAN in the Wild: Measurements from The Things Network." *ArXiv* abs/1706.03086 (2017): n. pag.
- [2] M. Rizzi, P. Ferrari, A. Flammini and E. Sisinni, "Evaluation of the IoT LoRaWAN Solution for Distributed Measurement Applications," in *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 66, no. 12, pp. 3340-3349, Dec. 2017, doi: 10.1109/TIM.2017.2746378.
- [3] Kais Mekki, Eddy Bajic, Frederic Chaxel, Fernand Meyer, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, *ICT Express*, Volume 5, Issue 1, 2019, Pages 1-7, ISSN 2405-9595, <https://doi.org/10.1016/j.icte.2017.12.005>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953>)
- [4] A. Lavric and V. Popa, "A LoRaWAN: Long range wide area networks study," *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)*, Iasi, 2017, pp. 417-420, doi: 10.1109/SIELMEN.2017.8123360.
- [5] L. A. Zadeh, "Fuzzy logic," in *Computer*, vol. 21, no. 4, pp. 83-93, April 1988, doi: 10.1109/2.53.
- [6] (). LoRaWAN vs NB-IOT. Available: <https://ubidots.com/blog/lorawan-vs-nb-iot/>
- [7] (). LoRaWAN description. Available: <https://loralliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- [8] (). Fuzzy Logic. Available: http://www.cs.uoi.gr/~arly/courses/ai/slides/10_fuzzy_logic.pdf
- [9] (). Fuzzy Logic. Available: <https://www.controleng.com/articles/artificial-intelligence-fuzzy-logic-explained/>

- [10] (). Fuzzy Logic. Available:
https://www.tutorialspoint.com/artificial_intelligence/artificial_intelligence_fuzzy_logic_systems.htm
- [11] (). Zambretti Forecaster. Available: <http://integritext.net/DrKFS/zambretti.htm>
- [12] (). Zambretti Algorithm. Available:
<https://earthscience.stackexchange.com/questions/16366/weather-forecast-based-on-pressure-temperature-and-humidity-only-for-implement>
- [13] (). Heat Index Algorithm. Available:
https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml
- [14] K. Su, J. Li and H. Fu, "Smart city and the applications," 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Ningbo, 2011, pp. 1028-1031, doi: 10.1109/ICECC.2011.6066743.
- [15] Kamel Boulos, M.N., Al-Shorbaji, N.M. On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities. *Int J Health Geogr* **13**, 10 (2014).
<https://doi.org/10.1186/1476-072X-13-10>
- [16] (). First IoT device. Available: <https://www.ibm.com/blogs/industries/little-known-story-first-iot-device/>
- [17] (). The Things Uno. Available:
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/devices/uno/>
- [18] (). LoRaWAN gateways. Available:
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/>
- [19] (). The Things Gateway. Available:
<https://www.thethingsnetwork.org/docs/gateways/gateway/>

- [20] (). The Things Network Library. Available: <https://github.com/TheThingsNetwork/arduino-device-lib/blob/master/src/TheThingsNetwork.h>
- [21] (). DHT22 datasheet. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [22] (). DHT22 Library. Available: <https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library>
- [23] (). MQ2 sensor. Available: <https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-sensor-arduino-tutorial/>
- [24] (). BMP180. Available: <https://www.adafruit.com/product/1603>
- [25] (). BMP280. Available: <https://www.adafruit.com/product/2651>
- [26] (). BMP180 vs BMP280. Available: <https://www.best-microcontroller-projects.com/bmp280.html>
- [27] (). Rain Sensor. Available: <https://create.arduino.cc/projecthub/MisterBotBreak/how-to-use-a-rain-sensor-bcecd9>
- [28] (). Βιβλιοθήκη για το fuzzification των δεδομένων. Available: <https://github.com/arnigeir/jsfuzz>
- [29] (). Βιβλιοθήκη για το defuzzification των δεδομένων. Available: <https://github.com/sebs/es6-fuzz>

Παράρτημα Α

Σε αυτό το παράρτημα παρουσιάζεται το σύστημα που αναπτύχθηκε για έλεγχο των μετρήσεων στην πλατφόρμα myDevices Cayenne. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε μόνο στα αρχικά στάδια αφού δεν προσφέρει τις απαραίτητες δυνατότητες για την ανάπτυξη του τελικού προϊόντος.

