

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μελέτη και σχεδίαση συστήματος έγκαιρης
ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών



Του φοιτητή
Ιωσήφ Κοέν
Αρ. Μητρώου: 144199

Επιβλέπων
Δρ. Περικλής Χατζημίσιος
Καθηγητής

Σεπτέμβριος 2020

Τίτλος Δ.Ε.
Κωδικός Δ.Ε. ...
Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών
Όνοματεπώνυμο εισηγητή ...
Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. ...
Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

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

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

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

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία αποτελεί την πτυχιακή μου εργασία στα πλαίσια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Δρ. Περικλή Χατζημίσιου. Στόχος αυτής της πτυχιακής είναι η μελέτη και ανάπτυξη μιας πρώτης εφαρμογής για την πρόβλεψη δασικών πυρκαγιών.

Η επιλογή του θέματος της εργασίας, έγινε σε συνεργασία με τον επιβλέποντα Καθηγητή Δρ. Περικλή Χατζημίσιου. Ο λόγος επιλογής του συγκεκριμένου θέματος είναι επειδή είμαι πεπεισμένος ότι η τεχνολογία μπορεί να σώσει και να σώζει το περιβάλλον αλλά και τους ανθρώπους. Το μεγαλύτερο ταρακούνημα για μένα ήταν η πυρκαγιά στο Μάτι όπου 102 συνάνθρωποι μας έχασαν τη ζωή τους το καλοκαίρι του 2018. Έτσι η παρούσα πτυχιακή είναι ένα πολύ καλό πρώτο βήμα για να κάνω τα πιστεύω μου πράξη έτσι και σε πρωταρχικό στάδιο. Η τεχνολογία πρέπει να υπηρετεί τους ανθρώπους και να σώζει ζωές γιατί πλέον μπορεί. Το όφελος που αποκόμισα κατά τη διάρκεια της εργασίας μου ήταν να μάθω πολλά νέα πράγματα σχετικά με τα δάση μέσα από μία πιο επιστημονική σκοπιά. Τέλος με βοήθησε να γίνω πιο ευαισθητοποιημένος πάνω στο θέμα της προστασίας του περιβάλλοντος.

Περίληψη

Η παρούσα μελέτη ασχολείται με το να δώσει έναν τρόπο προστασίας των ανθρώπων από δασικές πυρκαγιές. Είναι ευρέως γνωστό ότι οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν μία από τις πιο κύριες απειλές για τα ελληνικά δάση όπου η δασική βλάστηση βρίσκεται σε αφθονία. Κύριος παράγοντας για την εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών είναι οι ανθρώπινες δραστηριότητες με συνέπεια οι επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών να είναι οδυνηρές όχι μόνο για το ίδιο το δάσος αλλά και για το γενικότερο περιβάλλον αλλά και να για τις ανθρώπινες ζωές.

Η Πολιτική Προστασία αποβλέπει στην προστασία της ζωής, υγείας και περιουσίας των πολιτών από φυσικές καταστροφές όπως στην περίπτωση μας από τις δασικές πυρκαγιές. Επειδή όμως η πλήρης εξάλειψη των δασικών πυρκαγιών είναι αδύνατη και αποτελεί ουτοπία (έστω και αν υπήρχε ο πιο τέλειος αντιπυρικός σχεδιασμός), η Πολιτική Προστασία προσπαθεί με τα εργαλεία που διαθέτει(νομοθεσία, δυναμικό και ειδοποιήσεις) να εξισορροπήσει και να μειώσει τους κινδύνους που δημιουργούν οι πυρκαγιές.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται μια προσπάθεια για την βοήθεια των πολιτών και την προστασία τους από δασικές πυρκαγιές. Στο πρώτο κεφάλαιο ορίζονται κάποιες βασικές έννοιες για τα δάση, τις δασικές πυρκαγιές και γενικά την επίδραση που έχουν αυτές στο περιβάλλον. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο ασύρματο πρωτόκολλο LoRaWAN και γενικότερα το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things – IoT) με συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογών. Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η υλοποίηση μιας απλής εφαρμογής για τον έλεγχο εκδήλωσης πυρκαγιάς. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές επεκτάσεις της εφαρμογής και γενικότερα στην πρόληψη των δασικών πυρκαγιών.

Abstract

The purpose of the current Thesis is to present a way of protecting people from forest fires. It is widely known that forest fires constitute one of the major threats for the Greek forests where vegetation is in abundance. The main factor which can be held accountable for the cause of forest fires is human activity, which has devastating repercussions not only for the forest itself but the environment in general and human lives as well.

The Greek General Secretariat for Civil Protection aims at protecting citizens' life, health and property from natural disasters such as, in our case, forest fires. However, the full elimination of forest fires is unfeasible even if the perfect fire safety measures are taken; that is the reason why the people in charge of the Greek General Secretariat for Civil Protection try to eradicate the dangers fires cause, using the tools which they have at their disposal (eg. legislation, workforce, notifications).

The current Thesis makes an effort to help citizens protect themselves from forest fires. In the first chapter, some basic terms about forests and forest fires are defined, along with their effect on the environment in general. In the second chapter, provides a description for the wireless protocol LoRaWAN and in general the Internet of Things (IoT) together with certain examples of applications. The third chapter is devoted to the analysis of the implementation of a very simple application for fire possibility control. Finally, the fourth chapter presents the work and development that can be done to improve the developed application as well as the prevention of forest fires in the future.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τον επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Δρ. Περικλή Χατζημίσιο, Καθηγητή στο Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, καθώς και την ομάδα του TLab που βοήθησαν με εξοπλισμό και κάποιες τεχνικές γνώσεις.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	5
Περίληψη	6
Abstract	7
Ευχαριστίες	8
Περιεχόμενα	9
Κατάλογος Σχημάτων	11
Κατάλογος Πινάκων	11
Κατάλογος Εικόνων	11
Κατάλογος Κώδικα	13
Κεφάλαιο 1ο: Το Φαινόμενο των Δασικών Πυρκαγιών	14
1.1 Εισαγωγή	14
1.2 Λόγοι Δασικών Πυρκαγιών	14
1.3 Κατηγορίες Δασικών Πυρκαγιών	1
1.3.1 Υπόγεια Καύση	2
1.3.2 Πυρκαγιά στα Σπορόφυτα και τα Δενδρύλλια	2
1.3.3 Πυρκαγιά σε Κορμούς και Καλύμματα	2
1.4 Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι Δασικών Πυρκαγιών	3
1.4.1 Επίδραση στη Βλάστηση	4
1.4.2 Επίδραση στα Ζώα	5
1.4.3 Επίδραση στο Έδαφος	5
1.4.4 Επίδραση στην Ατμόσφαιρα	6
1.4.5 Επίδραση στο Νερό	7
1.5 Επίλογος	7
Κεφάλαιο 2ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων και Υποδομή LoRaWAN	8
2.1 Εισαγωγή	8
2.2 Πλατφόρμα LoRa και Πρωτόκολλο LoRaWAN	9
2.3 Συσκευές LoRa και Εφαρμογές LoRaWAN	12
2.3.1 Προσομοιωτής LoRaSIM	12
2.3.2 Mobile LoRaWAN	12
2.3.3 Απόδοση Κόμβου LoRaWAN	13
2.3.4 Υλοποίηση LoRa σε Εσωτερικό Χώρο	13
2.3.5 LoRa FABIAN	13

2.3.6	LoRa Wi-Fi	14
2.3.7	Πρόσβαση καναλιού LoRaWAN	14
2.3.8	Το LoRaWAN στις Σκανδιναβικές Πόλεις	15
2.3.9	Οθόνη Θερμοκρασίας uPnP-WAN	15
2.3.10	Σύστημα Παρακολούθησης Στάθμης Υδάτων	16
2.3.11	Συλλογή Ενέργειας με σύστημα LoRa	16
2.3.12	Πλατφόρμα WaterGrid-Sense	16
2.4	Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Εφαρμογών Πρόληψης και Πρόβλεψης Πυρκαγιών με Χρήση IoT και Υποδομών LoRaWAN	17
2.5	Επίλογος	20
Κεφάλαιο 3ο: Υλοποίηση		22
3.1	Εισαγωγή	22
3.2	Υλικό	22
3.2.1	Arduino Leonardo (The thing Uno)	23
3.2.2	μNode	26
3.2.3	Πύλη (Gateway)	32
3.2.4	Κουτιά	37
3.3	Κώδικας αισθητήρων	38
3.3.1	Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Αέρα	38
3.3.2	Αισθητήρας Υγρασίας εδάφους	42
3.3.3	Αισθητήρας Φωτιάς	44
3.4	Η πλατφόρμα του The Things Network	46
3.5	Εφαρμογή Σε Κινητό Τηλέφωνο	49
3.6	Επίλογος	51
Κεφάλαιο 4ο: Προτάσεις βελτίωσης		52
4.1	Εισαγωγή	52
4.2	Δίκτυο LoRaWAN με χρήση WiFi Mesh από UAV Gateways	52
4.3	Ανίχνευση Δασικής Πυρκαγιάς με χρήση Τοπολογίας LoRa Wireless Mesh	56
4.4	Σύστημα Προειδοποίησης και Παρακολούθησης Πυρκαγιών με Χρήση LoRa	61
4.5	Βελτιώσεις στην εφαρμογή	63
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		65

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 2.1: Στοίβα δικτύου ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλειας.	11
Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταφοράς δεδομένων από τον κόμβο του αισθητήρα	61
Σχήμα 4.2: Στοίβα δικτύου ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλεια	61

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 3.2: Τεχνικά Χαρακτηριστικά	24
Πίνακας 3.3: Εξαρτήματα Πύλης(Gateway)	32

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1: Το Pycom Lopy και το Pycom Expansion Board 3.0.	20
Εικόνα 3.1: Arduino Leonardo (The things uno).	24
Εικόνα 3.2: μNode	27
Εικόνα 3.3: μNode v1.1 pcb μπροστά μεριά	27
Εικόνα 3.4: μNode v1.1 pcb πίσω μεριά	28
Εικόνα 3.5: μNode GPS τοποθεσία	29
Εικόνα 3.6: μNode GPS τοποθεσία σε μεγάλες αποστάσεις	29
Εικόνα 3.7: μNode μετρήσεις	30
Εικόνα 3.8: iC880A-SPI - LoRaWAN Concentrator 868 MHz	32
Εικόνα 3.9: u.fl to SMA - Pigtail cable for iC880A-SPI	33
Εικόνα 3.10: Raspberry Pi 3	33
Εικόνα 3.11: Κεραία ANT-8WHIP3H-SMA	34

Εικόνα 3.12: iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1
34

Εικόνα 3.13: Raspberry Pi 3 με iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1 και το iC880A-SPI 35

Εικόνα 3.14: Σύνδεση iC880A-SPI με το Raspberry Pi 3 μέσω καλωδίων
35

Εικόνα 3.15: Τα δύο κουτιά εγκατάστασης
37

Εικόνα 3.16: Ολοκληρωμένο κουτί με την πύλη στο εσωτερικό του
38

Εικόνα 3.17: Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας
38

Εικόνα 3.18: Μετρήσεις αισθητήρα Θερμοκρασίας και Υγρασίας
41

Εικόνα 3.19: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους
42

Εικόνα 3.20: Αισθητήρας φωτιάς
44

Εικόνα 3.21: Ένα απλό σχεδιάγραμμα της λειτουργίας της πλατφόρμας The Things Network
46

Εικόνα 3.22: Υπηρεσίες που παρέχει η πλατφόρμα The Things Network
47

Εικόνα 3.23: Υπάρχουσες πύλες σε όλο τον κόσμο
47

Εικόνα 3.24: Υπάρχουσες πύλες στην Ευρώπη και Ασία
47

Εικόνα 3.25: Υπάρχουσες πύλες στην Θεσσαλονίκη από την Κοινότητα του The Things Network της Θεσσαλονίκης.
48

Εικόνα 3.26: Αρχική εικόνα εφαρμογής.
49

Εικόνα 3.27: Αρχική εικόνα εφαρμογής.
49

Εικόνα 3.28: Μήνυμα κινδύνου πυρκαγιάς της εφαρμογής
50

Εικόνα 3.29: Χάρτες εφαρμογής
50

Εικόνα 4.1: Δίκτυα αστέρα και δίκτυα πλέγματος.
58

Εικόνα 4.2: Ο κόμβος που χρησιμοποιεί LoRa και Arduino
59

Εικόνα 4.3: Αρχιτεκτονική του LoRa Network από το περιβάλλον στο Ίντερνετ
59

Εικόνα 4.4: Σενάριο για το συνολικό σύστημα
60

Εικόνα 4.5: Δίκτυα αστέρα και δίκτυα πλέγματος.
62

Κατάλογος Κώδικα

Κώδικας 3.1: Παράδειγμα μNode
31

Κώδικας 3.2: Μορφοποίηση ρυθμίσεων WiFi του Raspberry Pi 3
36

Κώδικας 3.3: Κώδικας αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας μαζί με LoraWan επικοινωνία
39-42

Κώδικας 3.4: Κώδικας αισθητήρα υγρασίας εδάφους μαζί με LoraWan επικοινωνία
43-45

Κώδικας 3.2: Κώδικας αισθητήρα φωτιάς μαζί με LoraWan επικοινωνία
45-46

Κεφάλαιο 1ο: Το Φαινόμενο των Δασικών Πυρκαγιών

1.1 Εισαγωγή

Ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών λόγω της κλιματικής αλλαγής αυξάνεται συνεχώς στις μέρες μας. Με την επέκταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, η κατάλληλη άμυνα κατά των δασικών πυρκαγιών καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική. Ο αριθμός των ετήσιων δασικών πυρκαγιών στην ΕΕ κυμαίνεται μεταξύ 50-70 χιλιάδων, αγγίζοντας 3-5 χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα και προκαλώντας ζημιές εκατομμυρίων ευρώ.

Οι εμπειρογνώμονες σε θέματα περιβάλλοντος της ΕΕ αναγνώρισαν ότι οι δασικές πυρκαγιές προκαλούν σημαντικά οικολογικά, οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες με πιθανές μακροπρόθεσμες συνέπειες για το φυσικό περιβάλλον και την οικονομία (Foldi & Halaz, 2009).

Τα κράτη μέλη της ΕΕ έχουν δημιουργήσει κοινές οδηγίες και εθνικούς κανονισμούς για την προστασία των δασών και την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών και διεξάγουν διάφορες επιστημονικές έρευνες για το θέμα αυτό (Nair, 2011). Ο σχεδιασμός της περιβαλλοντικής ασφάλειας έχει καταστεί πρωταρχικό καθήκον (Yan et al., 2011). Η έρευνα των διαρθρώσεων των δασών, η ορθή γνώση της ανάπτυξης των δασικών πυρκαγιών και των επιπτώσεών τους στο περιβάλλον μπορούν να συμβάλλουν στην προστασία από τις δασικές πυρκαγιές και στην καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών μεγάλης κλίμακας, που αποτελεί σύνθετο και δύσκολο έργο για τις αμυντικές οργανώσεις και το προσωπικό. (Molnar, 1991)

1.2 Λόγοι Δασικών Πυρκαγιών

Όταν προκαλείται ξηρασία, ή μετά από μεγάλη κλίμακας δασική πυρκαγιά, η προσοχή στρέφεται στα δάση, στη διερεύνηση της πρόληψης των φυσικών πυρκαγιών, της πυρόσβεσης, των τεχνικών και οργανωτικών θεμάτων και των λόγων και των συνεπειών των δασικών πυρκαγιών. Τα δάση μπορούν να υποδιαιρεθούν σε 3 κατηγορίες ανάλογα με το είδος των δένδρων τους και την υποανάπτυξή τους: (Nagy, 2008)

- Φυλλοβόλα δάση
- Κωνοφόρα δάση
- Μεικτά δάση

Οι παράμετροι ανάφλεξης και εξάπλωσης των πυρκαγιών είναι διαφορετικές. Η υποανάπτυξη ενός φυλλοβόλου δάσους έχει μεγαλύτερη υγρασία γενικά, επομένως δεν μπορεί να πιάσει εύκολα φωτιά. Αλλά υπάρχει μεγάλη περιεκτικότητα σε ρητίνη στα φύλλα και τις κορώνες των κωνοφόρων δέντρων που προκαλούν ευκολότερη ανάδευση και καύση. Τα δάση αυτά είναι γενικά ξηρότερα. Περίπου το 75% των δασικών πυρκαγιών συμβαίνουν στα δάση πεύκων και μόνο το 25% στα φυλλοβόλα δάση (Nagy, 2008). Όσον αφορά τους λόγους και τις συνέπειες των δασικών πυρκαγιών, υπάρχουν οι ακόλουθες κατηγορίες:

- Αβιοτικοί παράγοντες

- Βιοτικοί παράγοντες
- Οικονομικοί παράγοντες
- Ανθρώπινοι παράγοντες

Αβιοτικοί παράγοντες: Από τα στοιχεία του κλίματος, η ποσότητα των βροχοπτώσεων και η θερμοκρασία αποτελούν τα βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη των δασικών πυρκαγιών. Πρόσθετες παράμετροι μπορεί να είναι η ποσότητα ημερήσιου ηλιακού φωτός, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και η επικρατούσα ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Σημαντικές είναι επίσης οι μορφές ανακούφισης στην επιφάνεια, διότι οι πυρκαγιές γενικά μπορούν να εξαπλωθούν γρήγορα από τις κάτω ακτές. Επίσης ακανόνιστη επιφάνεια με πέτρες ή υδατορεύματα μπορεί να σταματήσει τις πυρκαγιές βλάστησης.

Βιοτικοί παράγοντες: Οι πληθυσμοί των ειδών και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων αποτελούν τις βασικές πτυχές κατά τη διάρκεια της δάσωσης για την επιλογή των κατάλληλων ειδών δέντρων. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό στη χώρα μας να χειριζόμαστε προσεκτικά τα είδη κωνοφόρων, διότι πλήττονται περισσότερο από τις πυρκαγιές και έχουν επιρροή στο εύρος και τη σοβαρότητα των δασικών πυρκαγιών. Η ηλικία των δασών, η ποιότητα και η ποσότητα της υπανάπτυξης και το πάχος των νεκρών φύλλων αποτελούν επίσης σημαντικούς βιοτικούς παράγοντες.

Οικονομικοί παράγοντες: Σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η φιλική προς το περιβάλλον, ασφαλής και υπεύθυνη δασοκομία, διότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ελαχιστοποίηση της ανάπτυξης και της εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών. Είναι επίσης σημαντική η καθαρότητα των δασών και των δασικών περασμάτων, διότι τα δάση γίνονται πιο διαφανή με αυτόν τον τρόπο (Szott & Kass, 1993). Η ξυλοκοπία και η καύση των αποβλήτων κοπής πλήττουν επίσης τις δασικές πυρκαγιές. Η ρυθμιζόμενη και βιώσιμη οικονομία είναι σημαντική, μαζί με την τήρηση των κανόνων και των δυνατοτήτων αποτελεσματικής πυρόσβεσης.

Ανθρώπινοι παράγοντες: Ένας από τους συνηθέστερους λόγους των δασικών πυρκαγιών είναι η ακατάλληλη ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι περισσότερες από τις δασικές πυρκαγιές ξεκινούν λόγω ανθρώπινων σφαλμάτων, απροσεξίας ή εσκεμμένης ανατάραξης.

Οι πιο συνηθισμένες ανθρώπινες δραστηριότητες που προκαλούν δασικές πυρκαγιές είναι:

- Το απαγορευμένο ή ακανόνιστο άναμμα φωτιάς
- Η αύξηση του τουρισμού με αυτοκίνητο ή μοτοσικλέτα
- Το κάπνισμα σε δάση
- Η καύση γεωργικών αποβλήτων ή χωματερών κοντά στα δάση.

1.3 Κατηγορίες Δασικών Πυρκαγιών

Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να υποδιαιρεθούν σε 4 κατηγορίες στα δάση της Ουγγαρίας με βάση τα δένδρα και άλλα είδη βλάστησης:

1.3.1 Υπόγεια Καύση

Η υπόγεια καύση μπορεί να ξεκινήσει σε δάση, όπου τα στρώματα τύρφης βρίσκονται κάτω από αυτά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το οργανικό υλικό που δεν έχει στοιχειοθετηθεί εμπλουτίζεται στα ανώτερα στρώματα των καμένων εδαφών στο έδαφος χωρίς φλόγες. Αυτού του είδους οι πυρκαγιές είναι σπάνιες, αλλά όταν συμβαίνουν, μπορούν να διαρκέσουν πολύ και να εξαπλωθούν σε μεγάλες περιοχές. Η ταχύτητα εξάπλωσής τους είναι πολύ αργή, μερικά εκατοστά ή το πολύ λίγα μέτρα την ημέρα. Οι αιτίες μπορεί να είναι η αυτοανάφλεξη ή η πυρκαγιά σε υποανάπτυξη.

Οι φλόγες απλώνονται απευθείας στην επιφανειακή βλάστηση (ξηρό γρασίδι, νεκρά πεσμένα φύλλα, κλαδάκια κ.λπ.) καίγοντας τα κάτω μέρη των κορμών και των ριζών πάνω από την επιφάνεια. Οι πυρκαγιές σε υποανάπτυξη μπορούν να υποδιαιρεθούν σε 3 κατηγορίες με βάση την ταχύτητα εξάπλωσης (V_t) και το ύψος φλόγας (H_f) (Nagy, 2008):

- Εβδομάδας, εάν $V_t \leq 1$ m/min και $H_f \leq 0,5$ m
- Μέτρια, εάν $V_t \leq 1-3$ m/min και $H_f \leq 0,5-1,5$ m
- Ισχυρή, εάν $V_t > 3$ m/min και $H_f > 1,5$ m.

Η ταχύτητα εξάπλωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου και την κατεύθυνση του ανέμου. Η εξάπλωση στην κατεύθυνση του ανέμου είναι 6-10 φορές ταχύτερη απ' ό,τι στον πλευρικό άνεμο. Με βάση τη διάρκειά τους, μπορούν να διακριθούν οι πυρκαγιές σε εξέλιξη και οι συνεχιζόμενες πυρκαγιές. Οι φωτιές που βρίσκονται σε εξέλιξη καίνε ξηρή βλάστηση κοντά στην επιφάνεια. Τα φυτά με υψηλότερη περιεκτικότητα σε νερό και βαθύτερες υγρές στρώσεις εδάφους δεν επηρεάζονται. Οι πυρκαγιές σε εξέλιξη μπορούν να δημιουργηθούν από υψηλές ταχύτητες ανέμου και να εξαπλωθούν γρήγορα. Οι συνεχιζόμενες πυρκαγιές στην υπανάπτυξη εξαπλώνονται αργά λόγω της χαμηλής ταχύτητας του ανέμου, ωστόσο δεν καίνε μόνο επιφάνειες, αλλά εξαπλώνονται, αναδύοντας λάμψη και πυκνό καπνό.

Οι κορμοί και οι ρίζες των δέντρων αντιμετωπίζουν σοβαρές ζημιές κατά τη διάρκεια αυτών των τύπων πυρκαγιών και τα μικρά σπορόφυτα, τα δενδρύλλια και οι θάμνοι καίγονται ολοσχερώς. Οι συνεχιζόμενες πυρκαγιές στην υπανάπτυξη μπορούν να εξαπλωθούν ακόμα και στις κορυφογραμμές και τους θάμνους των μεγαλύτερων δέντρων.

1.3.2 Πυρκαγιά στα Σπορόφυτα και τα Δενδρύλλια

Σε περίπτωση συνεχιζόμενων πυρκαγιών σε υπόγεια ανάπτυξη, ακόμη πιο μικρά δέντρα, όπως οι θάμνοι, μπορεί να πεθάνουν. Σε δασικές περιοχές με έντονους ανέμους, η ταχύτητα εξάπλωσης μπορεί να φτάσει τα 500 μέτρα την ώρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις η διάδοση έχει ακανόνιστη μορφή, με την καμένη περιοχή να αναπτύσσεται ακτινικά (Nagy, 2008).

1.3.3 Πυρκαγιά σε Κορμούς και Καλύμματα

Κατά τη διάρκεια περιόδων ξηρασίας, οι πυρκαγιές σε μειωμένη ανάπτυξη μπορούν να αυξηθούν και να πυροδοτηθούν σε φρεάτια, ακόμη και σε βλαστούς. Το κοινό τους χαρακτηριστικό είναι ότι η πυρκαγιά εξαπλώνεται όχι μόνο στο έδαφος, αλλά και σε κορμούς, φύλλα και δενδρύλλια, με το κάψιμο φύλλων, κλαδιών και μεγαλύτερων βραχιόνων των δέντρων. Κατά συνέπεια, τα δέντρα

πεθαίνουν στις περισσότερες περιπτώσεις. Επιπλέον πυρκαγιά στην υπανάπτυξη μπορεί να σχηματιστεί κατά τη διάρκεια πυρκαγιών σε βλαστούς, ωστόσο αυτή τη φορά η καύση της υπανάπτυξης είναι μέρος της κρυφής φωτιάς. Μπορούν να περιγραφούν τρεις κατηγορίες με βάση την οριζόντια ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς (V_t) (Bleszity & Zelenak, 1989):

- Εβδομάδας, εάν $V_t < 3$ m/λεπτό
- Μέτρια, εάν $3 \leq V_t \leq 10$ m/min
- Ισχυρή, εάν $V_t > 10$ m/min.

Βάσει της συμπεριφοράς τους, μπορούν επίσης να χωριστούν σε δύο ομάδες: τις εν εξελίξει πυρκαγιές και τις επίμονες. Δύναται να σχηματιστεί πυρκαγιά σε περίπτωση θυελλώδους ανέμου. Η εξάπλωση της φωτιάς συμβαίνει με τα "άλματα" μεταξύ των θάμνων, με αυτόν τον τρόπο να είναι πολύ πιο μπροστά από την επακόλουθη υπανάπτυξη. Γενικά, η πυρκαγιά ξεκινά μέσα στην υποανάπτυξη, από τα χαμηλότερα τμήματα των διαύλων που θερμαίνονται, αρχίζουν να καίγονται, και η πυρκαγιά εξαπλώνεται με τη βοήθεια του ανέμου. Σε περίπτωση επίμονων πυρκαγιών, απλώνονται στους θάμνους, αλλά και η επιφάνεια του εδάφους καίγεται. Μπορούν να σχηματιστούν με αδύναμους ανέμους.

Κατά την ομαδοποίηση των δασικών πυρκαγιών, πρέπει να προβούμε σε διαφοροποίηση βάσει των τύπων των πληγείσων περιοχών. Λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους, μπορούμε να μιλάμε για δασικές πυρκαγιές σε πεδιάδες και σε ορεινές περιοχές. Οι δασικές πυρκαγιές στα βουνά είναι εξαιρετικά επικίνδυνες, λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε ρητίνη των κωνοφόρων δέντρων, η ταχύτητα της εξάπλωσης μπορεί να είναι 2-3 φορές ταχύτερη απ' ό,τι στα φυλλοβόλα δάση. Η καταπολέμηση των δασικών πυρκαγιών στα βουνά μπορεί να είναι πιο δύσκολη λόγω του άγριου εδάφους και των σπάνιων πηγών νερού.

1.4 Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι Δασικών Πυρκαγιών

Πρέπει να διερευνηθούν οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι των δασικών πυρκαγιών, προκειμένου να αποφευχθούν περαιτέρω πυρκαγιές, να αναπτυχθούν κατάλληλες τεχνικές για την πυρόσβεση και για την κατάλληλη αποκατάσταση των κατεστραμμένων, καμένων δασικών περιοχών μετά τις δασικές πυρκαγιές (Nagy, 2008).

Η έρευνα των Laszlo & Rajmund (2016) περιγράφει τις επιβλαβείς επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών σε διάφορα στοιχεία του περιβάλλοντος. Είτε η πυρκαγιά είναι φυσική είτε ανθρωπογενής, μπορεί να διαταράξει και να αλλάξει έντονα τις δομές και τις λειτουργικές διαδικασίες των δασικών οικοσυστημάτων. Οι συνέπειες των πυρκαγιών είναι δύσκολο να περιγραφούν γενικά, διότι αποτελούν λειτουργίες των χαρακτηριστικών τους. Μερικά από αυτά είναι: η συχνότητα επανάληψής τους στο χρόνο, ο όγκος των πυρκαγιών, η ένταση και η διάρκειά τους, οι κλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των πυρκαγιών και η ένταση των βροχοπτώσεων πριν και μετά τις πυρκαγιές.

Οι δασικές πυρκαγιές μπορεί να έχουν πολύ σοβαρές οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι μέτρησης των οικονομικών επιπτώσεων (Gould et al., 2009), ωστόσο, η μέτρηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων είναι πολύ δύσκολη. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των δασικών πυρκαγιών μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με πολλούς τρόπους. Η ταξινόμηση είναι σημαντική, διότι ορισμένα μειονεκτήματα θα μπορούσαν να προληφθούν στο μέλλον με τη χρήση

μιας κοινής μεθόδου μέσω της αναγνώρισης των ομοιοτήτων. Βάση της ταξινόμησης, μπορεί να είναι η διάρκεια τους, το μέγεθος του απειλούμενου εδάφους, οι επιβλαβείς επιπτώσεις τους στη βλάστηση, το ζωικό βασίλειο, το έδαφος, ο αέρας, το νερό ή άλλες διακεκριμένες κατηγορίες.

1.4.1 Επίδραση στη Βλάστηση

Ένας από τους λόγους για την αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των δασικών πυρκαγιών είναι η διαδικασία αποξήρανσης που απορρέει από την "παγκόσμια κλιματική αλλαγή" (Abu-Zreig et al., 2003). Ως συνέπεια αυτής της διαδικασίας αποξήρανσης, η ποσότητα της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ουγγαρία μειώθηκε κατά περίπου 100 χιλιοστά τα τελευταία 4-5 χρόνια (Isaac & Kimaro, 2011).

Η υγρασία των φυτών έχει επίσης μειωθεί και αυτό είχε ως αποτέλεσμα χαμηλότερο σημείο ανάφλεξης της βλάστησης. Η αντοχή των ειδών είναι διαφορετική. Ορισμένα φυτά αναγεννήθηκαν ταχύτερα μετά από δασική πυρκαγιά και έτσι εξαπλώθηκαν σε μεγαλύτερα εδάφη απ' ό,τι πριν (Howlett et al., 2011). Τα είδη βλάστησης που δεν μπορούν να αναγεννηθούν πρέπει να αναφυτευθούν για να αποκατασταθεί η οικολογική ισορροπία στο δάσος (Kort et al., 2009).

Οι πυρκαγιές έχουν μικρότερη ένταση στους χώρους πρασίνου κυρίως με θάμνους, όπου η καύσιμη, ξηρή ύλη είναι σε μικρότερη ποσότητα, έτσι η καύση μπορεί να είναι μόνο μερική στα φυτά και στο έδαφος. Αυτό σημαίνει ότι το ένα μέρος των κλαδιών των δέντρων και των θάμνων επιβιώνει, ενώ το άλλο πέφτει λόγω της θερμικής πίεσης. Αυτά τα δέντρα και οι θάμνοι έχουν την ευκαιρία να αναγεννηθούν ανάλογα με τις ζημιές που προκύπτουν στα κλαδιά ή τις ρίζες τους. Τα μέρη του δάσους που έχουν πολλά πεύκα είναι πιο ευαίσθητα στη φωτιά, καθώς μπορούν να τη «θρέψουν» σημαντικά. Η πυρκαγιά μπορεί να μεγαλώσει σε αυτές τις συνθήκες γρήγορα, προκαλώντας πλήρη καταστροφή. Μετά την πυρκαγιά, το περιβάλλον είναι άψυχο για ένα χρόνο, ωστόσο στη συνέχεια αρχίζει να αναπτύσσεται πολύ γρήγορα και σε μεγάλο βαθμό, η περιοχή γίνεται πράσινη αποδεικνύοντας την ικανότητα επιβίωσης και ανανέωσης της φύσης ακόμα και μετά από μια καταστροφή.

Η αναζωογόνηση της βλάστησης στο φυσικό περιβάλλον του καμένου εδάφους μπορεί να γίνει και με σπόρους. Οι σπόροι μπορούν να επιβιώσουν από πυρκαγιές στο έδαφος ή μπορούν να προέρχονται από γειτονικές περιοχές μετακινούμενοι από τον άνεμο ή από τα πτηνά, τα έντομα ή άλλα ζώα. Οι καρποί μερικών φυτών καρποφορούν σύντομα και παράγουν πολλούς σπόρους για να εξασφαλίσουν τη διάδοσή τους. Τα πεύκα, ωστόσο, δεν μπορούν να αναγεννηθούν μετά από έντονη καύση. Η αναζωογόνησή τους γίνεται πολύ αργά μόνο με τους σπόρους τους και έτσι η επαναφορά τους χρειάζεται ανθρώπινη βοήθεια.

Τα ποώδη φυτά είναι απαραίτητα για την κάλυψη και την προστασία του εδάφους. Μετά από μια πυρκαγιά, η αναζωογόνηση της βλάστησης, η καλλιέργεια φυτών ξεκινά μόλις την επόμενη άνοιξη. Στο μεταξύ, το έδαφος παραμένει ακάλυπτο ώστε ο Ήλιος να μπορεί να το καίει, ο άνεμος να το στεγνώνει και η βροχή να το υποβαθμίζει. Με τον τρόπο αυτό, τα εναπομείναντα ορυκτά από τα καμένα φυτά και μέρος του υποβαθμισμένου εδάφους μπορούν να εισχωρήσουν σε χαμηλότερα επίπεδα για να παράγουν εκεί ένα πολύ ευνοϊκό περιβάλλον παραγωγής.

Τα ποώδη φυτά μετά από πυρκαγιά αναπαράγονται με φυσικό τρόπο. Η εμφάνιση των περιστροφών είναι πολύ εντυπωσιακή μέσα σε ένα χρόνο. Κάθε φυτό μετά από μια πυρκαγιά, ακόμη και εκείνα τα είδη που είναι ανεπιθύμητα στο δεδομένο οικοσύστημα, ολοκληρώνουν ένα

πολύ σημαντικό έργο προστασίας. Με την παρουσία τους, τα νεαρά φυτά, 1-2 ετών, μαζί με επιζώντες σπόρους και άλλους από γειτονικές περιοχές μπορούν να αναπαραχθούν και να εγκατασταθούν. Επομένως, τα φυτά ποωδών είναι απαραίτητα για την κάλυψη και την προστασία του εδάφους.

1.4.2 Επίδραση στα Ζώα

Οι άμεσες επιπτώσεις των πυρκαγιών στα ζώα μπορεί να είναι:

- Μπορούν να καταστρέψουν ζώα που ζουν στην περιοχή
- Μπορούν να αλλάξουν τα οικολογικά χαρακτηριστικά του βιότοπου, με αυτόν τον τρόπο μπορεί η περιοχή να γίνει ακατάλληλη για τα είδη που ζούσαν εκεί πριν, αλλά να βοηθήσει στην εγκατάσταση νέων με διαφορετικές απαιτήσεις.

Η έκταση της άμεσης καταστροφικής δράσης για τα διάφορα είδη εξαρτάται από τη θέση τους στη ζωοταξία. Γενικά, τα μεγάλα, γρήγορα κινούμενα θηλαστικά και πτηνά μπορούν να διαφύγουν με επιτυχία σε ασφαλέστερους χώρους. Έτσι, το ποσοστό καταστροφής τους είναι χαμηλό, μόνο νεότεροι, ασθενέστεροι πεθαίνουν, αλλά τα νεαρά πτηνά που φωλιάζουν στο έδαφος επηρεάζονται σοβαρά.

Η θνησιμότητα είναι πολύ μεγαλύτερη σε μικρότερα ή αργά κινούμενα ζώα όπως βατράχια, σαύρες, σαλιγκάρια, αράχνες. Οι δασικές πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν δραματική καταστροφή στους πληθυσμούς τους. Το έδαφος, αναπάντεχα, έχει ένα καλό αποτέλεσμα θερμομόνωσης, έτσι οι μυρμηγκοφάγοι και οι προνύμφες των εντόμων που καλλιεργούνται στο έδαφος γενικά επιβιώνουν από δασικές πυρκαγιές. Οι έμμεσες επιπτώσεις των πυρκαγιών, η εξάλειψη ή η ζημία των βιοτόπων των ζώων προκαλούν πιο προφανείς, μόνιμες αλλαγές στη δασική πανίδα. Ο λόγος είναι ότι τα περισσότερα είδη ζώων έχουν μεγαλύτερες συγκεκριμένες απαιτήσεις όσον αφορά τους βιότοπους τους. Η αντοχή των ειδών πανίδας περιορίζεται μόνο από τις δυνατότητες διαφυγής τους και αυτό εξαρτάται από την ταχύτητα εξάπλωσης της πυρκαγιάς.

Γενικά, οι φωλιές και τα κρησφύγετα των ζώων καταστρέφονται ολοσχερώς σε καμένες περιοχές. Αυτό οδηγεί την τοπική πανίδα στη μετανάστευση. Λόγω της κατεστραμμένης βλάστησης και της αντικαθιστώμενης πανίδας, η ισορροπία του μικροπεριβάλλοντος αναστατώνεται και το τοπικό φυσικό περιβάλλον αλλάζει (Moser et al., 1990).

1.4.3 Επίδραση στο Έδαφος

Η διάβρωση του εδάφους επιταχύνεται μετά από δασική πυρκαγιά λόγω μερικής ή ολικής καταστροφής της βλάστησης, ενώ το ανώτερο γόνιμο στρώμα εδάφους μπορεί να εξαφανιστεί (Bronick & Lal, 2005). Ελλείψει της δύναμης συνοχής των ινωδών ριζικών συστημάτων, το έδαφος χαλαρώνει και διαβρώνεται (Haile et al., 2010). Μετά από μια δασική πυρκαγιά, το έδαφος μπορεί εύκολα και γρήγορα να διαβρωθεί από βροχές από τις πλαγιές των λόφων. Στις πεδιάδες, τα στρώματα τέφρας που παράγονται από τη φωτιά μπορούν να διαβρώνονται, καθιστώντας το έδαφος αλκαλικό, γεγονός που οδηγεί στην εξαφάνιση των φυτών που δεν μπορούν να ανεχθούν την αλκαλοποίηση (Sogbedji et al., 2000).

Ένα ακόμη πρόβλημα είναι ότι η θερμότητα που παράγεται από τη φωτιά σκοτώνει τους μικροοργανισμούς που είναι χρήσιμοι για τα φυτά, επομένως η αντικατάσταση της βλάστησης

γίνεται πιο αργή. Η καύση των σπόρων της χλωρίδας είναι δυνατή μόνο με νεοαφιχθέντες σπόρους στο έδαφος. Τα φυτά που δεν μπορούν να ανεχθούν αλκαλικό έδαφος θα πεθάνουν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αυτή η βλάβη θα αποτελέσει ένα από τα εμπόδια στην αποκατάσταση του αρχικού οικοσυστήματος.

Η προέλευση των ειδών δέντρων είναι αδιάφορη για το σχηματισμό της πανίδας του εδάφους. Το στρώμα των νεκρών φυτών στο έδαφος και οι φυσικοχημικές παράμετροι του εδάφους είναι πιο σημαντικές. Γενικά, οι πληθυσμοί ορισμένων φυσικών, γηγενών ειδών πανίδας του εδάφους είναι πλουσιότεροι σε αριθμό από την πανίδα των αναγεννημένων εδαφών μετά τις δασικές πυρκαγιές. Μια πρόσθετη συνέπεια των δασικών πυρκαγιών είναι ότι η διάβρωση του εδάφους μπορεί να επιταχυνθεί λόγω της εν μέρει ή πλήρως κατεστραμμένης χλωρίδας. Με αυτόν τον τρόπο το έδαφος μπορεί να υποβαθμιστεί σε μεγάλο βαθμό ή να εξαλειφθεί πλήρως. Η πυρκαγιά, αφού κάψει τα μέρη των φυτών πάνω από το έδαφος, καταστρέφει αργά ακόμα και τις ρίζες, τα υπόγεια μέρη. Με τον τρόπο αυτό εξαφανίζεται η δύναμη εδαφικής συνοχής των ριζών και το έδαφος διαβρώνεται εύκολα. Αυτό το πρόβλημα συνήθως υπάρχει στις ορεινές περιοχές. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την πυρόσβεση ή ενδεχομένως για την εφαρμογή επιβραδυντικών πυρκαγιάς, μπορούν να εισχωρήσουν στο έδαφος και να αλλάξουν τις αρχικές χημικές διεργασίες εξισορρόπησης σε αυτό, προκαλώντας οξύνιση ή αλκαλοποίηση, μεταβάλλοντας τη χημική σύνθεση του εδάφους. Αυτά τα χαρακτηριστικά των πυροσβεστικών υλικών δεν έχουν διερευνηθεί, διότι κατά τη φάση ανάπτυξης, η κύρια χρήση τους δεν είχε προγραμματιστεί σε φυσικό περιβάλλον. Δεν είναι γνωστές όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των χημικών ουσιών λεπτομερώς. Αν και ονομάζονται "χημικά φυσικές", θα αλλάξουν τις αναλογίες φυσικής χημικής σύνθεσης στο έδαφος. Για παράδειγμα, η τεχνητή οξύνιση μπορεί να κινητοποιήσει βαρέα μεταλλικά άλατα στο υπόγειο νερό, τα οποία ήταν αδιάλυτα πριν σε φυσικές συνθήκες. Έτσι, τα βαρέα μέταλλα μπορούν να ενσωματωθούν και να μπουν στις αλυσίδες τροφίμων.

1.4.4 Επίδραση στην Ατμόσφαιρα

Μεγάλη ποσότητα οργανικών μικροσωματιδίων στην ατμόσφαιρα που προέρχεται από ατελή καύση μπορεί να μολύνει τον αέρα. Κατά τη διάρκεια των δασικών πυρκαγιών, τεράστιες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) εισέρχονται στην ατμόσφαιρα επιδεινώνοντας τις αυξανόμενες τάσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου που επιταχύνει την υπερθέρμανση του πλανήτη (Lopez-Diaz et al., 2011). Λόγω των δασικών πυρκαγιών, τα εδάφη των δασικών εκτάσεων και μια ποσότητα δέντρων μειώνουν ταυτόχρονα τις φωτοσυνθετικές επιδόσεις τους και την παραγωγή οξυγόνου, επιδεινώνοντας την κατάσταση (Jose, 2009). Λόγω της ατελούς καύσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO), το οποίο εισέρχεται επίσης στην ατμόσφαιρα, προκαλούνται σοβαροί κίνδυνοι για την υγεία των ζώων και των πυροσβεστών.

Με την καύση της βλάστησης σχηματίζονται πρόσθετα τοξικά προϊόντα καύσης που εισέρχονται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη ποσότητα. Τέτοιες χημικές ουσίες είναι τα διάφορα πτητικά έλαια, το βενζόλιο και τα παράγωγά του που εκλύονται κατά την καύση και την αποσύνθεση ξύλινων υλικών. Καθώς η καύση είναι ατελής, πολλά εναπομείναντα οργανικά μικροσωματίδια στον αέρα μολύνουν επίσης την ατμόσφαιρα. Αυτά τα μικροσωματίδια σχηματίζονται κατά τη μερική κατανομή των οργανικών υλικών. Οι εν λόγω ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι επικίνδυνοι και επιβλαβείς όχι μόνο στο σημείο της δασικής πυρκαγιάς και στις γειτονικές περιοχές της, αλλά μπορούν να μεταφερθούν μαζί με τις μετακινήσεις από αέρος, που προκαλεί η πυρκαγιά, σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μεγαλύτερα υψόμετρα. Φτάνοντας σε μερικά χιλιόμετρα υψόμετρου,

αυτές οι χημικές ουσίες μπορούν να μεταφερθούν 50-100 χιλιόμετρα και να εξαπλώσουν τη ρύπανση σε μακρινά εδάφη (Nagy, 2008).

1.4.5 Επίδραση στο Νερό

Οι δασικές πυρκαγιές έχουν άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στη ρύπανση των υδάτων λόγω των επιβλαβών χημικών ουσιών που σχηματίζονται από τις πυρκαγιές, οι οποίες εισέρχονται για πρώτη φορά στην ατμόσφαιρα και αργότερα στα ύδατα λόγω κατακρήμνισης ή καθίζησης. Η τέφρα και τα μικρά κομμάτια φυτών μπορούν να προκαλέσουν άμεση επιφανειακή ρύπανση στα γειτονικά ύδατα. Εμμέσως, η ρύπανση μπορεί να εξαπλωθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις από τον άνεμο που μολύνει τα μακρινά ύδατα (Udawatta et al., 2011). Το νερό που χρησιμοποιείται για την πυρόσβεση μπορεί να διαβρώσει άλλα χημικά που βοηθούν στην κατάσβεση της πυρκαγιάς στα γειτονικά επιφανειακά ύδατα, ρυπαίνοντας ποτάμια και λίμνες στην περιοχή.

Οι χημικές ουσίες που είναι ουδέτερες στο έδαφος και μεταβάλλουν μόνο την αναλογία χημικής σύνθεσης, αλλά είναι κατά τα άλλα αδρανείς, μπορούν να ενεργοποιηθούν στο νερό από μια σειρά χημικών αντιδράσεων, προκαλώντας επικίνδυνη ρύπανση σε πολύ μεγαλύτερα εδάφη, π.χ. δίπλα σε έναν ποταμό. Οι ρύποι αυτοί μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο ή ακόμη και να εξολοθρεύσουν τα υδατικά οικοσυστήματα. Λόγω της ξαφνικής εξάπλωσης, μεγάλες ποσότητες νερού που χρησιμοποιούνται στην πυρόσβεση (ιδίως από τον αέρα), η ισορροπία του νερού της περιοχής καταρρέει, η βιολογική ισορροπία της φυσικής επιφάνειας και των υπόγειων υδάτων καταρρέει, τα ζώα και η βλάστηση αυξάνονται λόγω της ταχείας τροποποίησης των συνθηκών διαβίωσης και στη χειρότερη περίπτωση η ζωή εξέρχεται από την περιοχή.

1.5 Επίλογος

Στο παρόν κεφάλαιο έγινε αναφορά και μία επεξήγηση των λόγων των δασικών πυρκαγιών, αναφέρθηκαν τα είδη των δασών και τα είδη των πυρκαγιών σε αυτά. Ακόμα έγινε και μία αναφορά στις επιδράσεις των δασικών πυρκαγιών σε πέντε(5) τομείς του περιβάλλοντος όπως για την βλάστηση, ζώα, έδαφος, ατμόσφαιρα και στο νερό. Σκοπός του κεφαλαίου ήταν να δώσει κάποιους ορισμούς για τα δαση και τις πυρκαγιές σε αυτά. Και να εξηγήσει τις συνέπειες των δασικών πυρκαγιών.

Κεφάλαιο 2ο: Διαδίκτυο των Πραγμάτων και Υποδομή LoRaWAN

2.1 Εισαγωγή

Το παράδειγμα του Διαδικτύου των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT) παρουσιάζεται ως το μέλλον του Διαδικτύου και αποσκοπεί στο να δώσει σε οποιοδήποτε αντικείμενο τη δυνατότητα να συνδέεται με το Διαδίκτυο και να επικοινωνεί με άλλα αντικείμενα, όπως αυτοκίνητα, ζώα, φυτά κ.λπ. Για το IoT έχουν διεξαχθεί διάφορα είδη έρευνας, που οδήγησαν στη βελτίωση και την ανάπτυξη κατηγοριών βάσει συγκεκριμένων έργων που έχουν αναληφθεί. Για παράδειγμα, σχηματισμένες κατηγορίες που είναι κοινώς γνωστές είναι τα έξυπνα σπίτια, οι έξυπνες πόλεις, οι έξυπνες μεταφορές, το έξυπνο περιβάλλον, το έξυπνο δίκτυο και τα έξυπνα συστήματα νερού (Abu-Mahfouz et al., 2015).

Δεν υπάρχει σταθερό μοντέλο υλοποίησης για IoT, αλλά όλα εξαρτώνται από τις περιπτώσεις χρήσης. Μία λύση βασισμένη σε IoT σε μία κατηγορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λύση σε άλλη κατηγορία. Αυτό έχει οδηγήσει σε εμπειρογνώμονες που προβλέπουν τη σύνδεση περισσότερων από 50 δισεκατομμυρίων αντικειμένων μέχρι το 2020 (Want et al., 2015).

Η επικοινωνία είναι το σημαντικό σημείο που ενώνει όλα τα «Πράγματα» για να δημιουργήσει το Διαδίκτυο των Πραγμάτων. Η ασύρματη επικοινωνία (Wireless communication - WC) παρέχει τα πλεονεκτήματα της φορητότητας, χωρίς καλώδια, της εύκολης προσθήκης περισσότερων συσκευών στο δίκτυο και της εύκολης παροχής σε οποιοδήποτε αντικείμενο της δυνατότητας σύνδεσης στο διαδίκτυο (Khan et al., 2017).

Επιπλέον, τα Δίκτυα Ασύρματων Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks - WSNs) είναι μία από τις πιο επιτυχημένες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για υλοποιήσεις IoT. Το WSN παρουσιάζεται ως βασικό μέρος του IoT, διότι εξυπηρετεί έναν σκοπό που επιτρέπει τη διασύνδεση και την ενσωμάτωση των φυσικών αντικειμένων με τον κυβερνοχώρο, καθιστώντας επίσης τις εξελίξεις και τις υλοποιήσεις IoT φθηνές λόγω της προόδου και της καινοτομίας που λαμβάνουν χώρα στις WC. Το WSN αποτελείται από ασύρματους αισθητήρες χαμηλής ισχύος που λειτουργούν ως υποδομή για υλοποίηση που θα εξυπηρετεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Ωστόσο, το WSN σχετίζεται με πολλές κληρονομημένες προκλήσεις λόγω των περιορισμών των κόμβων αισθητήρων, όπως η ενεργειακή ικανότητα, η υπολογιστική ικανότητα και το εύρος ζώνης επικοινωνίας (Kobo et al., 2017).

Η διαχείριση και η ασφάλεια του δικτύου εξακολουθούν να απαιτούν μεγαλύτερη προσοχή (Ndiaye et al., 2017). Τα διάφορα σενάρια απαιτούν ένα διαφορετικό μοντέλο ανάπτυξης με διαφορετικές παραμέτρους ενός δικτύου. Για παράδειγμα, οι έξυπνες μεταφορές απαιτούν μια υλοποίηση δικτύου που θα μπορεί να διαχειριστεί την κινητικότητα, οι έξυπνες πόλεις θα απαιτούν υλοποίηση δικτύου που θα είναι σε θέση να διαχειριστεί επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας και το έξυπνο περιβάλλον θα απαιτεί υλοποίηση δικτύου που θα μπορεί να διαχειριστεί φυσικές καταστροφές και ούτω καθεξής.

Σήμερα, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνολογίες WC σε κάθε προοπτική, οι οποίες κυμαίνονται από το βραχύ φάσμα (ZigBee, 6LowPAN) (Dludla et al., 2013) έως το μακρύ, μεσαίο εύρος (LoRa, Sigfox, UNB, weightless, LTE-M, κ.λπ.) (Petajajarvi et al., 2015). Τα δίκτυα ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης (Low Power Wide-Area Networks - LPWAN) θα βελτιώσουν τις υπάρχουσες και πολλές νέες εφαρμογές IoT λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της επικοινωνίας μεγάλης εμβέλειας που σχετίζεται με αυτές. Τα LPWAN λειτουργούν σε ασύρματες ζώνες με άδεια και χωρίς άδεια χρήσης.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των LPWAN που πρέπει να καθοδηγούν τη σχεδίαση των δικτύων IoT είναι:

- Συσκευές χαμηλού κόστους για υλοποίηση δικτύου χαμηλού κόστους
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας
- Εύκολη υλοποίηση υποδομής δικτύου σε εθνικό επίπεδο
- Ασφάλεια
- Εκτεταμένη κάλυψη

Επί του παρόντος, υπάρχει μεγάλη ανάπτυξη στα δίκτυα LPWAN. Ωστόσο, μία τεχνολογία δεν μπορεί να επιλύσει όλες τις προκλήσεις. Έτσι, τα LPWAN αναπτύσσονται για να αντιμετωπίσουν μόνο ένα μέρος των προκλήσεων στην IoT. Τα LPWAN στοχεύουν ειδικά σε καταστάσεις όπου είναι περισσότερο απαραίτητη η εκτεταμένη κάλυψη, με χαμηλό κόστος υλοποίησης, στις οποίες περιλαμβάνονται συσκευές με ανοχή καθυστέρησης, που δεν χρειάζονται υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων και απαιτούν δίκτυο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας (Raza et al., 2017). Ειδικότερα, η παρακολούθηση ενός συστήματος ή συνθηκών είναι μια τέλεια περίπτωση όπου τα LPWAN ταιριάζουν απόλυτα. Σε αυτή την περίπτωση, υποθέτουμε ότι τα LPWAN μπορούν να είναι ιδανικά για δίκτυα διανομής νερού (Water Distribution Networks - WDN), όπου συλλέγονται μικρά δεδομένα για την παρακολούθηση διαφορετικών τμημάτων του δικτύου. Η έρευνα των Khutsoane et al. (2017) πραγματοποιεί μια περιεκτική έρευνα των συσκευών LoRa και της συμπεριφοράς τους σε διάφορες εφαρμογές για να παρατηρήσει τη δυνητική βιωσιμότητα της προσαρμογής στο διανεμημένο δίκτυο για σκοπούς παρακολούθησης.

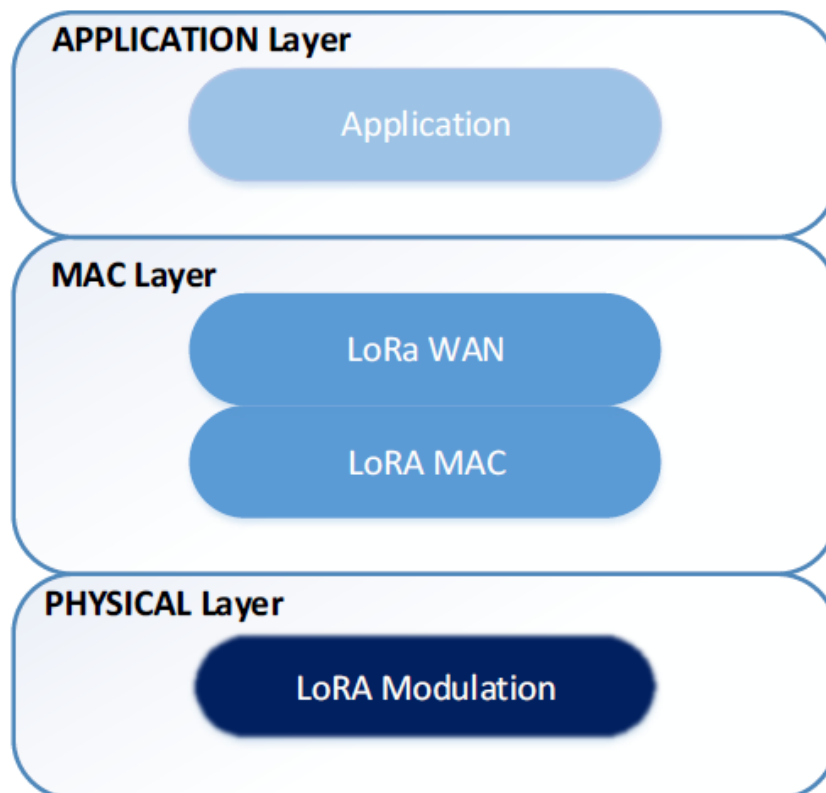
2.2 Πλατφόρμα LoRa και Πρωτόκολλο LoRaWAN

Στη σύγχρονη εποχή, η τεχνολογία έχει αναπτυχθεί τόσο πολύ που έχει γίνει όλο και πιο εξελιγμένη, καθιστώντας τις ασύρματες μεταδόσεις πραγματικά εύκολες. Το δίκτυο των ασύρματων αισθητήρων, με το όνομα WSN (Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων - Wireless Sensors Network), βασισμένο στη μονάδα LoRa, μπορεί να αποτελέσει εξαιρετική εναλλακτική για τον εντοπισμό δασικών πυρκαγιών σε συγκεκριμένες περιοχές. Η LoRa (Long Range) είναι μια τεχνολογία χαμηλής κατανάλωσης που αναπτύχθηκε από την Semtech και υποστηρίχθηκε από την LoRa Alliance. Η τεχνολογία αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων και χαμηλή ισχύ μετάδοσης σε υψηλές περιοχές (Polonelli et al., 2019).

Όσο αυξάνεται το εύρος μετάδοσης, το LoRa διατηρεί τα χαρακτηριστικά χαμηλής ισχύος της διαμόρφωσης σε συχνότητα (Frequency Shift Keying). Η τεχνολογία αυτή διαμορφώνει σύμβολα με εύρος ζώνης 125, 250 και 500 kHz (στην περίπτωση ευρωπαϊκών εφαρμογών) με διαφορετικούς

συντελεστές διασποράς (Sendra et al., 2018). Η LoRa ορίζει δύο διαφορετικά επίπεδα αυτής της τεχνολογίας: φυσικό επίπεδο LoRa και πρωτόκολλο LoRaWAN (δίκτυο ευρείας περιοχής). Από τη σκοπιά του φυσικού στρώματος, το LoRa είναι μια κατοχυρωμένη τεχνική ραδιοδιαμόρφωσης από τη Semtech.

Στην περίπτωση αυτή, η τεχνολογία πρόκειται να λειτουργήσει με συχνότητες σύμφωνα με τη σειρά GHz στη ζώνη ISM (Industrial, Scientific and Medical) χωρίς άδεια (Leonardi et al., 2018). Το πρωτόκολλο LoRaWAN τυποποιείται από τη LoRa Alliance, η οποία ορίζεται ως πρωτόκολλο επιπέδου MAC και αρχιτεκτονική συστήματος που χρησιμοποιεί το φυσικό επίπεδο του LoRa. Ο μηχανισμός ελέγχου πρόσβασης στο περιβάλλον που παρέχεται από τις LoRa επιτρέπει την επικοινωνία πολλαπλών τελικών συσκευών με μια πύλη μέσω διαμόρφωσης LoRa (Σχήμα 1) (Leonardi et al., 2018). Το δίκτυο ευρείας περιοχής χαμηλής κατανάλωσης διασφαλίζει τη συνδεσιμότητα των συσκευών χαμηλής κατανάλωσης που διανέμονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Τα δίκτυα αυτά αντιπροσωπεύουν ένα νέο μοντέλο επικοινωνίας, ολοκληρώνοντας με επιτυχία την ήδη υπάρχουσα τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας, όπως: Bluetooth, ZigBee, LTE, GSM και Wi-Fi (Leonardi et al., 2018). Χάρη στις απαιτήσεις χαμηλής ισχύος και το χαμηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας, το LoRaWAN είναι μία από τις πλέον χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες LPWA (Low-Power Wide-Area).



Σχήμα 2.1: Στοίβα δικτύου ευρείας περιοχής μεγάλης εμβέλειας.

Η τεχνολογία LoRa δεν εγγυάται μακροπρόθεσμη ανάπτυξη, αλλά υπάρχουν ήδη διαθέσιμες λύσεις βάσει αυτής, σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες που θα μπορούσαν ενδεχομένως να διαταράξουν την παγκόσμια ανάπτυξη (LoRA, 2020). Οι βιομηχανικές εφαρμογές IoT (Internet of Things – Διαδίκτυο των Πραγμάτων) βασίζονται στην επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων. Τα

υποσχόμενα πρωτόκολλα στον τομέα αυτό είναι τα SigFox, LoRaWAN και το πρότυπο NB-IoT (Polonelli et al., 2019).

Το Διαδίκτυο των πραγμάτων είναι ένα μοντέλο επικοινωνίας που αντιπροσωπεύει μια λύση στο εγγύς μέλλον, ικανή να ενσωματώνει αισθητήρες και συσκευές που μπορούν να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Τα "πράγματα" (things) από το Internet of Things περιλαμβάνουν φυσικές συσκευές εξοπλισμένες με μικροελεγκτές, πομποδέκτες ψηφιακών επικοινωνιών και στοίβες πρωτοκόλλων που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ χρηστών (Zanella et al., 2014).

Με τόσο μεγάλο αριθμό εφαρμογών IoT, το πρωτόκολλο LoRaWAN και οι συσκευές LoRa φαίνεται να είναι πολύ αποδοτικές στις επιχειρήσεις, συμβάλλοντας στο να ζουν οι άνθρωποι καλά σε όλο τον κόσμο (LoRa, 2020). Χρησιμοποιώντας αυτή την τεχνολογία αναμένει να επιτύχει μια έξυπνη σύνδεση ολόκληρου του πλανήτη. Εφαρμογές LoRa βρίσκονται σε διάφορους τομείς, όπως γεωργία, έξυπνες πόλεις, έξυπνο περιβάλλον, υγειονομική περίθαλψη, έξυπνα σπίτια και κτίρια, βιομηχανικός έλεγχος, έξυπνοι μετρητές, έξυπνη αλυσίδα εφοδιασμού και διοικητική μέριμνα.

Στη μελέτη των Gaitan & Hojbota (2020) παρουσιάζεται ένα σύστημα που ακολουθεί την ενσωμάτωση της τεχνολογίας LoRa στην ανίχνευση δασικών πυρκαγιών. Επίσης, συνοψίζονται ορισμένα ενδιαφέροντα συστήματα που εστιάζονται στους ανιχνευτές πυρκαγιάς και παρουσιάζεται ο προτεινόμενος σχεδιασμός, τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές εργασίες.

Το LoRa είναι μια πλατφόρμα ασύρματης τεχνολογίας χαμηλής ισχύος μεγάλης εμβέλειας που χρησιμοποιεί ραδιοφάσμα χωρίς άδεια στη βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική ραδιοζώνη (industrial, scientific, and medical brand – ISM brand) (Wixted et al., 2016). Το LoRa έχει ως στόχο να εξαλείψει τους αναμεταδότες, να μειώσει το κόστος της συσκευής, να αυξήσει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις συσκευές, να βελτιώσει τη χωρητικότητα του δικτύου και να υποστηρίξει μεγάλο αριθμό συσκευών. Πρόκειται για ένα φυσικό στρώμα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεγαλύτερης διάρκειας.

Για να επιτύχουν χαμηλή ισχύ, οι περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες χρησιμοποιούν τη διαμόρφωση Πλήκτρου Μετατόπισης Συχνότητας (Frequency Shift Key - FSK). Ωστόσο, το LoRa χρησιμοποιεί τη διαμόρφωση φάσματος διασποράς (Chirp-spread-spectrum - CSS) για να διατηρήσει χαρακτηριστικά χαμηλής ισχύος προς όφελος της αύξησης του εύρους επικοινωνίας. Είναι η πρώτη εφαρμογή για υποδομές χαμηλού κόστους που διατέθηκαν στο εμπόριο με τη χρήση CSS. Το CSS έχει χρησιμοποιηθεί σε επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας από στρατιωτικές και διαστημικές υπηρεσίες λόγω της ικανότητάς του να αντέχει τις παρεμβολές. Το πρωτόκολλο LoRaWAN είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από την LoRa Alliance για να εξυπηρετήσει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η επικοινωνία μεγάλης εμβέλειας με το IoT. Αφορά συγκεκριμένα την αρχιτεκτονική του συστήματος που βασίζεται στο LoRaWAN, σε μεγάλη απόσταση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας με χαμηλό ρυθμό bit. Το πρωτόκολλο και η αρχιτεκτονική δικτύου του έχουν μεγάλη επιρροή στον καθορισμό της διάρκειας ζωής της μπαταρίας ενός κόμβου, της χωρητικότητας του δικτύου, της ποιότητας υπηρεσίας (quality of service - QoS), της ασφάλειας και μιας ποικιλίας εφαρμογών που εξυπηρετούνται από το δίκτυο.

2.3 Συσκευές LoRa και Εφαρμογές LoRaWAN

Στην ενότητα αυτή εξετάζονται διάφορες συσκευές που χρησιμοποιούνται για υλοποιήσεις LoRa μαζί με τις διαμορφώσεις τους και εν συντομία επισημαίνεται σε ποιες εφαρμογές χρησιμοποιήθηκαν. Η σύγκριση μεταξύ των χρησιμοποιούμενων συσκευών και των εφαρμογών παρέχεται στην επόμενη ενότητα.

2.3.1 Προσομοιωτής LoRaSIM

Οι Bor et al. (2016) διερεύνησαν τη δυνατότητα κλιμάκωσης ενός δικτύου που αποτελείται από συσκευές LoRa που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο LoRaWAN. Η εγκατάστασή τους βασίστηκε σε ένα κλιμακούμενο δίκτυο για μια εφαρμογή έξυπνης πόλης. Για να μπορούν να μελετήσουν τη συμπεριφορά των συνδέσμων, χρησιμοποιούν τη λειτουργική μονάδα NetBlock XRange SX1272 LoRa. Πρώτα μελέτησαν τη συμπεριφορά συνδέσμου της συσκευής με πρακτικά πειράματα και προσδιόρισαν τα όρια για (i) την ανεξαρτησία του εύρους επικοινωνίας των ρυθμίσεων επικοινωνίας Συντελεστής Διασποράς (Spreading Factor - SF) και Εύρος Ζώνης (Bandwidth - BW) και (ii) την επίδραση αποτύπωσης των μεταδόσεων LoRa ανάλογα με το χρόνο μετάδοσης και την ισχύ.

Σκοπός της μελέτης των Bor et al. (2016) ήταν η ανάπτυξη μοντέλων που θα τους βοηθήσουν να κατασκευάσουν έναν προσομοιωτή LoRa, τον οποίο ονόμασαν LoRaSIM. Σύμφωνα με τους συγγραφείς, ο προσομοιωτής καταγράφει τη συμπεριφορά των συνδέσμων και επιτρέπει την αξιολόγηση κλιμακούμενων δικτύων LoRa. Πραγματοποίησαν το πείραμα της έξυπνης πόλης στο LoRaSIM. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μια τυπική πόλη θα ανέπτυξε το πολύ 120 κόμβους ανά 3,8 εκτάρια. Αυτό είναι δυνατό λόγω του τυπικού πρωτοκόλλου ALOHA. Ωστόσο, με δυναμικό πολλαπλό BS (πύλες) το δίκτυο θα κλιμακωθεί καλά.

2.3.2 Mobile LoRaWAN

Οι Petajajarvi, et al. (2015) διενήργησαν ερευνητικό πείραμα σε πραγματικό χρόνο για να διερευνήσει την κάλυψη δικτύου LoRa ως αύξηση απόστασης μεταξύ του πομπού (ED) και του δέκτη (BS). Στόχος της έρευνάς τους ήταν να βρουν το μέγιστο εύρος επικοινωνίας που μπορεί να επιτύχει η ρύθμιση του δικτύου, με βάση την τοποθεσία της υλοποίησης. Τα ευρήματά τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοποθεσίες παρόμοιες με τις δικές τους, καθώς οι παράμετροι LoRaWAN είναι γνωστό ότι διαφέρουν ανάλογα με τις τοποθεσίες. Χρησιμοποίησαν το μέγιστο SF, το οποίο βελτίωσε επίσης την ευαισθησία του σταθμού βάσης. Η LoRaMote ήταν η ED τοποθετημένη σε κινητό αυτοκίνητο και σκάφος για την ικανότητα μέτρησης των πακέτων που μεταφέρθηκαν και χάθηκαν, καθώς το κινούμενο αυτοκίνητο αυξάνει την απόσταση μεταξύ της ED και της BS της Kerlink που τοποθετήθηκε στην κορυφή του κτιρίου στο Πανεπιστήμιο του Oulu σε ύψος 24 μέτρων. Το πείραμά τους επικεντρώθηκε στα ποσοστά των χαμένων και μεταδιδόμενων πακέτων. Οι διάυλοι συχνοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν περιορίστηκαν στους κανονισμούς της ΕΕ. Ωστόσο, οι κόμβοι μπορούσαν να επιλέξουν μεταξύ των διαθέσιμων 6 καναλιών για επικοινωνία.

Τα αποτελέσματά τους δείχνουν 80% επιτυχημένη μετάδοση για 5 χλμ., 60% μεταξύ 5-10 χλμ. και εύλογη απώλεια για απόσταση μεγαλύτερη των 10 χλμ. για τον κόμβο που είναι συνδεδεμένος με το αυτοκίνητο. Στη βάρκα, 70% επιτυχημένη μετάδοση πακέτων για 15 χιλιόμετρα και εύρος επικοινωνίας επιτεύχθηκε για 30 χιλιόμετρα. Από τα αποτελέσματα, ήταν σε θέση να παρουσιαστεί

το μοντέλο εξασθένισης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της πυκνότητας του σταθμού βάσης.

2.3.3 Απόδοση Κόμβου LoRaWAN

Οι Augustin et al. (2016) επίσης διεξήγαγαν ένα πείραμα LoRaWAN για να αξιολογήσουν τη μέγιστη απόδοση που μπορεί να επιτύχει ένας κόμβος, η δοκιμή τους χρησιμοποίησε 6 κανάλια 125KHz και διέφερε SF από 7-12. Πραγματοποιήθηκαν αρκετές δοκιμές και σε κάθε δοκιμή, 100 πακέτα διαβιβάστηκαν με μέγιστο ωφέλιμο φορτίο 51 byte. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για τα χαμηλά μεγέθη πακέτων ο κύκλος λειτουργίας καναλιού δεν είναι αυτός που περιορίζει την ταχύτητα αλλά μάλλον η περίοδος κατά την οποία τα παράθυρα της ED ανοίγουν, η ED δεν μπορεί να μεταδώσει πακέτα μόλις τα παράθυρα του δέκτη είναι ακόμα ανοικτά.

Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το μέγιστο μέγεθος του πλαισίου εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο ρυθμό δεδομένων. Επιπλέον, η LoRaWAN δεν διαθέτει μηχανισμό για τη διαίρεση μεγάλων ωφέλιμων φορτίων σε πολλαπλά πλαίσια και ότι μια μετάδοση δεν θα πρέπει ποτέ να στέλνει ωφέλιμο φορτίο μεγαλύτερο από 36 byte. Πρόκειται για το μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο για την LoRaWAN που έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια χωρητικότητας σε περίπτωση αποστολής μεγάλου όγκου δεδομένων. Πρότειναν επίσης την προσθήκη ενός μηχανισμού κατακερματισμού στην επόμενη αναθεώρηση των προδιαγραφών LoRaWAN.

2.3.4 Υλοποίηση LoRa σε Εσωτερικό Χώρο

Οι Neumann και al. (2016) διενήργησαν πείραμα LoRaWAN σε εσωτερικό χώρο για την αξιολόγηση των επιδόσεων του και την τήρηση των περιορισμών του και τον καθορισμό της χρήσης του σε δίκτυα 5G. Έδειξαν ότι οι περιορισμοί καθοδηγούνται από τον κανονισμό για τη ζώνη ISM, ο οποίος επηρεάζει την ποσότητα των δεδομένων που αποστέλλονται καθημερινά. Επιπλέον, αν δεν οριστεί σωστά στην αρχική διαμόρφωση του ρυθμού των δεδομένων ED μπορεί επίσης να αποτελέσει παράγοντα απώλειας. Ανέπτυξαν μία πύλη και έναν ελάχιστο διακομιστή που αποκωδικοποιεί και καταγράφει τα απεσταλμένα πλαίσια LoRaWAN στη βάση δεδομένων. Η BS αποτελείται από ένα Raspberry Pi 2, διασυνδεδεμένο με το IMST IC880A μέσω ενός διαύλου SPI. Ο κώδικας προώθησης πακέτων που χρησιμοποιείται είναι από την Semtech και τον ED που αποτελείται από Raspberry Pi 2 διασυνδεδεμένο με LoRa mote RN2483 μέσω της διασύνδεσης UART.

Οι Gregora et al. (2016) διενήργησαν ένα ερευνητικό πείραμα με βάση το LoRa για τη δοκιμή των δυνατοτήτων διάδοσης σήματος εσωτερικού χώρου για την κάλυψη μεγάλης εμβέλειας της τεχνολογίας LoRa. Πραγματοποιήθηκαν δύο σενάρια στα οποία ο δέκτης τοποθετήθηκε στο υπόγειο ενός κτιρίου και στο επάνω μέρος της οροφής, με τη θέση του πομπού να μεταβάλλεται καθώς λαμβάνονται οι μετρήσεις. Οι συσκευές που χρησιμοποιούσαν ήταν προσαρμοσμένες για το πείραμα. Το IMST iU880A χρησιμοποιήθηκε ως πομποδέκτης ED και συνδέθηκε σε υπολογιστή μέσω σειριακού μετατροπέα USB. Η ρύθμιση του κόμβου ελέγχεται από το WiMOD LoRAWAN EndNode Studio.

2.3.5 LoRa FABIAN

Οι Petrić et al. (2016) περιέγραψαν το πείραμά τους και σχεδίασαν την εγκατάσταση του με βάση το LoRa, που ονομάζεται FABIAN, που αναπτύχθηκε στην πόλη Renne. Ως τοπολογία δικτύου

χρησιμοποιήθηκε τοπολογία αστέρων μετά το πρωτόκολλο ALOHA. Πραγματοποιήθηκαν αξιολογήσεις για τη μέτρηση του QoS. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην κυκλοφορία μεταξύ των κόμβων και των σταθμών βάσης. Ήταν σε θέση να παράγουν κίνηση παρόμοια με αυτή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές όπως η παρακολούθηση αισθητήρων. Μετρικές απόδοσης που παρατηρήθηκαν, όπως ρυθμός σφαλμάτων πακέτων (packet error rate - PER) και RSSI που σχετίζονται με το φυσικό επίπεδο LoRa και το λόγο θορύβου σήματος (signal noise ratio - SNR). Οι κόμβοι που χρησιμοποιήθηκαν αποτελούνται από μια ασπίδα Arduino και FrogieFactory LoRa, η οποία εκτελεί τροποποιημένη έκδοση του λειτουργικού συστήματος contiki. Ο ED έχει ρυθμιστεί να μπορεί να επικοινωνεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο LoRaWAN και το Kerlink ως το BS. Παρουσιάστηκαν ποικίλες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν το QoS και αποτελέσματα

2.3.6 LoRa Wi-Fi

Οι Kim et al. (2016) σχεδίασαν μια μονάδα πολλαπλής διασύνδεσης που ενσωματώνει τόσο το Wi-Fi όσο και το LoRa για να επιτύχει χαμηλή ισχύ, μεγάλη εμβέλεια και υψηλή μετάδοση δεδομένων. Σκοπός ήταν να παράσχει στην τεχνολογία LoRa τη δυνατότητα να μεταδίδει την υψηλή ποσότητα δεδομένων και να προσφέρει διαφορετικές υπηρεσίες με διάφορους αισθητήρες. Η πλακέτα Elix παρείχε συσκευή Wi-Fi και LoRa αποτελούμενη από chipset Semtech και Waspnote SX-1272, Raspberry Pi και Arduino. Ο χειριστής Wi-Fi και ο χειριστής LoRa αποστέλλουν δεδομένα μέσω της μονάδας Wi-Fi και LoRa αντίστοιχα. Το σύστημά τους ήταν ενσωματωμένο σε λειτουργία και λειτουργία χρονοδιαγράμματος δεδομένων που επέλεγε μεταξύ Wi-Fi και LoRa σύμφωνα με την προτεραιότητα των ανιχνευμένων δεδομένων για τη ρύθμιση της χρήσης ενέργειας. Τα πειράματα βασίζονταν σε μεγάλο βαθμό στη μέτρηση του RSSI και του SNR, από 6 χιλιόμετρα έως το μέγιστο 20 χιλιόμετρα εμβέλειας επικοινωνίας.

2.3.7 Πρόσβαση καναλιού LoRaWAN

Οι Bankov et al. (2016) μελέτησαν την απόδοση του LoRaWAN με βάση την πρόσβαση καναλιών, ως το σημαντικότερο στοιχείο για επικοινωνία τύπου μηχανήματος (machine type communication - MTC). Στόχος των εργασιών τους ήταν επίσης να αξιολογήσουν την αδυναμία του LoRaWAN και να προτείνουν μια λύση. Η αξιολόγηση του LoRaWAN με βάση προσομοιώσεις δεν παρέχει πλήρεις δυνατότητες του συστήματος αυτού. Έτσι, η αξιολόγησή τους βασίστηκε σε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση. Οι αξιολογήσεις που βασίζονται στην πρόσβαση καναλιών έδειξαν ότι οι συγκρούσεις μετάδοσης συμβαίνουν όταν δύο μεταδόσεις με τον ίδιο ρυθμό αλληλοεπικάλυψης δεδομένων στο χρόνο. Η ρύθμιση του δικτύου τους αποτελείται από N τρόπους συνδεδεμένους σε μια πύλη. Ένα κανάλι χρησιμοποιείται για την κατερχόμενη ζεύξη και 3 κύρια κανάλια για ανερχόμενη ζεύξη όλα τα κανάλια έχουν πλάτος 125 KHz. Οι συσκευές έχουν ρυθμιστεί να χρησιμοποιούν ρυθμούς δεδομένων από 0-5, που είναι SF 7-12. Όλες οι λειτουργίες έχουν ρυθμιστεί για τη μετάδοση ωφέλιμου φορτίου 64 byte.

Μελέτησαν επίσης ποσοστό σφαλμάτων πακέτων (packet error rate - PER) και λόγο απώλειας πακέτων (packet loss ratio - PLR) για φορτίο μικρότερο από 0,1 ανά δευτερόλεπτο. Το δίκτυο αντιμετωπίζει μικρή απώλεια πακέτων και όταν το φορτίο αυξάνει περισσότερο απώλεια πακέτων παρουσιάζεται λόγω συγκρούσεων που συμβαίνουν. Με 100 λεπτά, τα πακέτα μπορούν να αποστέλλονται μία φορά ανά 20 λεπτά. Η πιθανή λύση που προτείνεται είναι να αυξηθεί η πυκνότητα των πυλών LoRaWAN.

Η σύνδεση PHY και Data έχει δοκιμαστεί. Οι Augustin et al. (2016) σχεδίασαν ένα δοκίμιο για την ενδεδειγμένη αξιολόγηση της απόδοσης του επιπέδου σύνδεσης δεδομένων και του φυσικού επιπέδου τόσο μέσω προσομοίωσης όσο και μέσω επιτόπιων δοκιμών. Το έργο τους είναι αξιοσημείωτο, διότι παρουσίασαν την εις βάθος ανάλυση των στοιχείων της LoRa.

Οι Petajajarvi et al. (2015) αξιολόγησαν την κάλυψη του δικτύου LoRa μεταξύ άλλων τοποθετώντας την πύλη σε εσωτερικό χώρο και τον κόμβο της τελικής συσκευής σε εξωτερικό χώρο. Διαφοροποιούσαν την απόσταση και το SF καθώς μετρούσαν το λόγο παράδοσης πακέτων και τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι επιτεύχθηκε καλύτερη κάλυψη και πακέτα στο μέγιστο SF, που είναι 12 από άλλα χαμηλότερα SF. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ένα δίκτυο LoRaWAN μπορεί να επιτύχει υψηλότερο λόγο απόδοσης.

2.3.8 Το LoRaWAN στις Σκανδιναβικές Πόλεις

Οι Ahlers et al. (2016), στα υπό εξέλιξη ερευνητικά τους σχέδια για τη μέτρηση των αστικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στις βόρειες πόλεις, ανέπτυξαν ένα LoRaWAN. Είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα χαμηλού κόστους για το δίκτυο παρακολούθησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου γύρω από την πόλη τους. Το σύστημά τους ασχολήθηκε με το θέμα της μη ύπαρξης ενός συστήματος που θα δίνει στατιστικά στοιχεία για τις εκπομπές αερίων στη Νορβηγία και θα καθιστά τα δεδομένα διαθέσιμα σε κάθε πολίτη μέσω της πλατφόρμας του δήμου. Χρησιμοποίησαν δύο τεχνολογίες αισθητήρων, συγκεκριμένα το Plug & Sense Smart Environment Pro (PSSEP) της Libelium και το Autonomo (SA) της Sodaq.

Το LoRaWAN ήταν το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιήθηκε για να καλύψει τις ελάχιστες πύλες τους που έχουν αναπτυχθεί σε όλη την πόλη. Για την υποστήριξη της διάρκειας ζωής της μπαταρίας των κόμβων, τοποθέτησαν την ηλιακή οθόνη δίπλα στον κόμβο τους για υποστήριξη ρεύματος. Οι κόμβοι ήταν εξοπλισμένοι με διαφορετικούς αισθητήρες για τη μέτρηση διαφορετικών παραμέτρων των αερίων. Μετρούσαν τα επίπεδα CO₂ για περίοδο 6 μηνών και η ισχύς της μπαταρίας παρέμεινε σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι αυτό το είδος δικτύου είναι βιώσιμο.

2.3.9 Οθόνη Θερμοκρασίας uPnP-WAN

Οι Yang et al. (2016) εισήγαγαν μία συσκευή uPnP-WAN με σκοπό την παροχή plug and play για καμία προσδοκία σε ενσωματωμένα συστήματα IoT. Η συσκευή λέγεται ότι μπορεί να επιτύχει εύρος 3,5 χιλιομέτρων σε ad-hoc προαστιακή ανάπτυξη. Κύριος σκοπός των εργασιών τους ήταν ο σχεδιασμός ενός συστήματος για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας των ψυγείων αίματος στην DC Congo. Η μπαταρία τους για συσκευές plug-and-play λέγεται ότι διαρκεί 6 χρόνια σε ρεαλιστική πραγματική λειτουργία εργασίας.

Η γεωτοποθέτηση της ανύψωσης της κεραίας έχει αντίκτυπο στην αποτελεσματικότητα του εύρους. Το uPnP-WAN χρησιμοποιεί τη μονάδα LoRa RN2483 του Microchip για λειτουργία κατηγορίας A LoRaWAN. Ο μικροελεγκτής AtMega1284p με MCU 10 MHz, μνήμη RAM 16 kB, Flash 128 kB, χρησιμοποιείται για την υλοποίηση uPnP με λειτουργικό σύστημα Contiki με στοιβία Erbium CoAP. Οι PnP και RN2483 διασυνδέονται με επικοινωνία UART. Οι αξιολογήσεις αφορούσαν τη διάρκεια ζωής και το εύρος της μπαταρίας. Το σύστημα απεδείχθη ότι εκτείνεται σε απόσταση 3,5 χιλιομέτρων λόγω της αρχιτεκτονικής υλοποίησης LoRA.

Επιπλέον, σε σύγκριση με το προηγούμενο PnP-WAN που χρησιμοποιούσε δικτύωματα, η μπαταρία που προέρχεται τώρα από υπολογισμούς μπορεί να διαρκέσει 10 χρόνια. Το PnP-WAN ήταν ρυθμισμένο να μεταδίδει την ανάγνωση του αισθητήρα στην πύλη κάθε 15 λεπτά.

2.3.10 Σύστημα Παρακολούθησης Στάθμης Υδάτων

Οι Tanumihardja & Gunawan (2015) σχεδίασαν ένα σύστημα για την παρακολούθηση της στάθμης των υδάτων χρησιμοποιώντας WSN που χρησιμοποιεί τις LoRa και LoRaWAN ως φυσικό επίπεδο και πρωτόκολλο επικοινωνίας. Σχεδίασαν ένα σύστημα για τους χαρτοφύλακες για να παρακολουθούν την ποιότητα του ποδιού τους χρησιμοποιώντας τις προσωπικές τους συσκευές. Η πύλη που χρησιμοποιείται είναι ένα Raspberry Pi για την προώθηση των ευαίσθητων δεδομένων στο διακομιστή. Το σύστημα λέγεται ότι αυτοδιαμορφώνεται, καθώς έχει σχεδιαστεί για πελάτες με ελάχιστο υπόβαθρο στη μηχανική. Το ATmega χρησιμοποιείται για τους αναπτυγμένους κόμβους γύρω από το αγρόκτημα για να ικανοποιήσει το σύστημα χαμηλής ισχύος για απομακρυσμένη χρήση, ενώ ο μεταγωγέας επίπλευσης GE-1307 χρησιμοποιείται ως αισθητήρας για την ανάγνωση της κατάστασης του νερού.

Στη μελέτη, το εύρος ζώνης μετρήθηκε ως η απόσταση μεταξύ της πύλης και του κόμβου προσαρμόστηκε λόγω του πόσο χαμηλά ήταν τοποθετημένοι οι κόμβοι, ενώ η πύλη ήταν τοποθετημένη πάνω στο σπίτι και μπορεί να έχει ύψος 8 μέτρα. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η οριζόντια πόλωση των κεραιών είναι κατάλληλη γι' αυτή την εγκατάσταση.

2.3.11 Συλλογή Ενέργειας με σύστημα LoRa

Οι Orfei et al. (2016) διενήργησαν μία ενδιαφέρουσα έρευνα όσον αφορά το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων LoRa χωρίς μπαταρία, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε εφαρμογή πραγματικού κόσμου για την παρακολούθηση της κατάστασης του δρόμου μιας γέφυρας, μετρώντας τη θερμοκρασία της ασφάλτου και την παρουσία βροχής. Ο ηλεκτρομαγνητικός συλλέκτης ενέργειας δονήσεων με βάση τη διαμόρφωση Halbach τροφοδοτεί το σύστημα. Η ενέργεια από το σύστημα αποθηκεύεται σε υπερπυκνωτή για την τροφοδότηση του κόμβου. Το κρίσιμο στοιχείο του συστήματος είναι ο φλοιάς ARM Cortex M0+, σχεδιασμένος από τη μικροηλεκτρονική. Η MAC για αυτό το πείραμα είναι απενεργοποιημένη για τη μονάδα LoRa ώστε να διατηρείται η κατανάλωση ενέργειας σε χαμηλά επίπεδα. Δύο κεραιές χρησιμοποιούνται στον πομπό 433 MHz και 868 MHz. Επιπλέον, το ρεύμα και η τάση μετρώνται σε σχέση με το χρόνο και η ενέργεια που συγκομίζεται είναι 123 mJ.

2.3.12 Πλατφόρμα WaterGrid-Sense

Οι Abu-Mahfouz et al. (2016) διεξήγαγαν μία μελέτη για το δίκτυο διανομής νερού (Water Distribution Network - WDN) και ξεκίνησε ένα σύστημα έξυπνης διαχείρισης νερού (Smart Water Management System - SWMS) για τη μείωση της απώλειας νερού. Τα SWMS αποτελούνται από τρία μέρη, το έξυπνο δίκτυο ύδρευσης, το δυναμικό υδραυλικό μοντέλο και την ενεργό διαχείριση δικτύου. Αρχικά, ανέπτυξαν έναν κόμβο διασύνδεσης μετρητή (Mudumbe & Abu-Mahfouz, 2015), με βάση τον κόμβο αισθητήρα αρθρωτού συστήματος (Kruger et al., 2013) για τη συλλογή των ενδείξεων του μετρητή νερού και την αποστολή του στην πύλη.

Ανέπτυξαν επίσης την πλατφόρμα WaterGrid-Sense, η οποία είναι μια έξυπνη πλατφόρμα διασύνδεσης με δυνατότητα παρακολούθησης και ελέγχου σε πραγματικό χρόνο των στοιχείων ενός WDN. Το WaterGrid-Sense υποστηρίζει επικοινωνία μικρής εμβέλειας βάσει του IEEE

802.15.4 που χρησιμοποιεί επικοινωνία 2,4 GHz και μεγάλης εμβέλειας βάσει του LoRa με χρήση 868 MHz. Η ταινία προσαρτήθηκε σε δεκαεπτά μέτρα νερού και πέντε αισθητήρες πίεσης. Τα συλλεγόμενα δεδομένα τροφοδοτούνται στο δυναμικό υδραυλικό μοντέλο, το οποίο αποτελείται από διάφορες τεχνικές, όπως το σύστημα διαχείρισης πίεσης (Page et al., 2017) και τον αλγόριθμο ανίχνευσης διαρροών και εντοπισμού θέσης.

2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση Εφαρμογών Πρόληψης και Πρόβλεψης Πυρκαγιών με Χρήση IoT και Υποδομών LoRaWAN

Οι παραδοσιακές μέθοδοι ανίχνευσης και πρόληψης δασικών πυρκαγιών βασίζονται στην παρατήρηση μέσω δορυφορικών εικόνων, στην οπτική παρατήρηση από φρουρούς, στην ανίχνευση αέρος ή βίντεο σε υψηλές περιοχές (Herutomo et al., 2015). Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα μειονεκτήματα των συμβατικών συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών, τα τελευταία χρόνια προτάθηκαν διάφορες λύσεις για τη βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης του περιβάλλοντος και τη δημιουργία νέων συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο με τη χρήση συσκευών που βασίζονται στο Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Toledo-Castro et al., 2018).

Οι Gaitan & Hojbota (2020) πρότειναν ένα νέο σύστημα παρακολούθησης δασικών πυρκαγιών μέσω του εντοπισμού των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και της ανάλυσης των επιπέδων CO₂. Το σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μονάδας Arduino Uno παράλληλα με έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, έναν αισθητήρα καπνού και ένα σύστημα συναγερμού. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας ανιχνεύει τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και οι αισθητήρες καπνού ανιχνεύουν τα επίπεδα CO₂ και, εάν είναι απαραίτητο, ενεργοποιεί τον συναγερμό (ο βομβητής στην πλακέτα Arduino Uno).

Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία IoT, το σύστημα συνδέθηκε σε ιστοσελίδα με το όνομα "FireSecurity System", η οποία δημιουργήθηκε σε PHP και ελέγχεται από το περιβάλλον προγραμματισμού Arduino. Οι Jayaram et al. (2019) πρότειναν την εφαρμογή ενός συστήματος ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών στη δασική περιοχή χρησιμοποιώντας σύγχρονο εξοπλισμό. Το σύστημα δεν προοριζόταν μόνο για την ανίχνευση πυρκαγιών, αλλά και για την ανησυχία του δασικού υπευθύνου σχετικά με την πυρκαγιά που άρχισε στο δάσος. Οι δραστηριότητες του συστήματος ελέγχονται από μικροελεγκτή και οι χρησιμοποιούμενοι αισθητήρες έχουν το ρόλο να εντοπίζουν τη φωτιά και την ακριβή θέση της. Αυτό το σύστημα βασίζεται στο IoT, τις δραστηριότητες υπό συνεχή παρακολούθηση και τα δεδομένα που αποθηκεύονται και κοινοποιούνται σε διαδικτυακές τοποθεσίες web. Ο υπεύθυνος του δάσους επανεξετάζει τακτικά τα πρόσφατα αποθηκευμένα δεδομένα, τα οποία μπορούν να επαληθευτούν ανά πάσα στιγμή. Το σύστημα παρακολούθησης συνήθως βασίζεται κοντά στο δασικό γραφείο ή σε πυροσβεστικό σταθμό.

Η έρευνα των Soliman et al. (2010) είχε ως κύριο σκοπό την εφαρμογή ενός συστήματος ταχείας ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών με τη χρήση φθηνών και μικρών μεγεθών αισθητήρων που δεν απαιτούν επιτήρηση. Το σύστημα δεν χρησιμοποίησε συστήματα κεντρικής διαχείρισης μεγάλης κλίμακας, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος σε ευάλωτα περιβάλλοντα. Το χρησιμοποιούμενο δίκτυο αισθητήρων αντιπροσωπεύει ένα κελί μικρής κλίμακας που μπορεί να πολλαπλασιαστεί για να καλύψει ολόκληρο το δάσος.

Για να ξεπεραστεί η απώλεια χιλιάδων δασικών εκταρίων, οι Hariyawan et al. (2013) πρότειναν ένα σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο αισθητήρων. Κάθε κόμβος έχει έναν μικροελεγκτή, έναν πομπό, έναν δέκτη και 3 αισθητήρες. Οι μέθοδοι μέτρησης συνίστανται στη μέτρηση της θερμοκρασίας, στην ανίχνευση επιπέδων μεθανίου, υδρογονανθράκων και επιπέδων CO₂.

Οι Hristov et al. (2018) πρότειναν δύο διαφορετικές λύσεις για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών. Η πρώτη λύση αποτελείται από εναέρια οχήματα χωρίς χειριστές (aerial vehicles without pilots - UAV) εξοπλισμένα με ειδικές κάμερες. Στη μελέτη τους παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν πολλά σενάρια χρήσης drone για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών, συμπεριλαμβανομένης μιας λύσης που χρησιμοποιεί συνδυασμό μεταξύ UAV και σταθερού ανέμου και UAV με περιστροφικά φτερά. Η βασική διαμόρφωση του συστήματος που παρουσίασαν συνεπάγεται τη χρήση δικτύου καμερών τοποθετημένων στο έδαφος, μέσω των οποίων εξασφαλίζεται η συνεχής παρακολούθηση του δάσους. Οι χρησιμοποιούμενες φωτογραφικές μηχανές έχουν διπλούς φακούς που προσφέρουν τόσο πρότυπες εικόνες όσο και υπέρυθρες εικόνες (infrared images - IR). Οι Yu et al. (2005) πρότειναν ένα μοντέλο επικοινωνίας βασισμένο στο WSN για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών σε πραγματικό χρόνο ως πολύ πιο αποτελεσματική μέθοδο παρακολούθησης από ό,τι ο δορυφόρος (Vega-Rodríguez et al., 2019)

Κύριος σκοπός ήταν η γρήγορη ανίχνευση των πυρκαγιών προκειμένου να μειωθεί η απώλεια της βλάστησης, της χλωρίδας και της πανίδας. Στην υλοποίηση αυτού του συστήματος, προτάθηκε η χρήση ορισμένων αισθητήρων που συλλέγουν τις μετρηθείσες ημερομηνίες και τους στέλνουν στην ομάδα κόμβων για περαιτέρω επεξεργασία με την κατασκευή ενός νευρικού δικτύου. Το νευρωνικό δίκτυο παράγει μετεωρολογικό δείκτη που μετρά την πιθανότητα του καιρού που ευνοεί μια ενδεχόμενη πυρκαγιά. Οι κεφαλίδες συμπλεγμάτων αποστέλλουν μετεωρολογικούς ευρετήρια σε έναν διαχειριστή κόμβων που έχει ως ρόλο να αποφασίζει τον πιθανό κίνδυνο πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη τα ευρετήρια που έχουν ληφθεί.

Οι δασικές πυρκαγιές που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου μπορούν να προκληθούν ή να ξεκινήσουν από φυσικά γεγονότα ή ανθρώπινη αμέλεια. Τα φυσικά συμβάντα, όπως τα κλαδιά καύση, εμφανίζονται λόγω της θερμότητας που παράγεται από τον ήλιο. Ένα παράδειγμα αυτού του γεγονότος είναι η πυρκαγιά στη Σιβηρία το καλοκαίρι του 2019, που οδήγησε στην καταστροφή εκατομμυρίων εκταρίων βλάστησης. Οι πυρκαγιές που προκαλούνται από ανθρώπινη αμέλεια μπορεί να οφείλονται σε πολλαπλούς παράγοντες, όπως το να προκαλέσει κανείς ανεξέλεγκτες πυρκαγιές στο δάσος, να ρίξει ένα φλεγόμενο πούρο κλπ. Ένα παράδειγμα δασικής πυρκαγιάς που ξεκίνησε λόγω ανθρώπινης αμέλειας έλαβε χώρα στην επαρχία της Νότιας Σουμάτρα, το 2015.

Η ικανότητα ανίχνευσης της παρουσίας πυρκαγιάς αποτελεί το σημαντικότερο μέρος μιας στρατηγικής για την πυρασφάλεια. Χωρίς μέσα πυρανίχνευσης, δεν μπορεί να προειδοποιήσει τον πληθυσμό, δεν μπορεί να λάβει μέτρα ασφαλείας κατά της πυρκαγιάς και δεν μπορεί να κρούσει τον κώδωνα του κινδύνου στις πυροσβεστικές υπηρεσίες. Οι άνθρωποι, από τη φύση τους, είναι ικανοί να αισθάνονται θερμότητα και καπνό, να βλέπουν τις φλόγες και να ακούν τη φωτιά να καίει. Συνεπώς, θα μπορούσαμε να είμαστε δυνητικοί ανιχνευτές πυρκαγιάς, αλλά δεν είμαστε πάντα διαθέσιμοι ή αξιόπιστοι, και για τον λόγο αυτόν, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την τεχνολογία για να αντικαταστήσουμε αυτές τις ικανότητες. Μετά την ανάλυση των προβλημάτων, οι απώλειες προήλθαν από τις δασικές πυρκαγιές και το υψηλό κόστος των συστημάτων

ανίχνευσης και παρακολούθησης, πιστεύω ότι είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν ορισμένα συστήματα χαμηλού κόστους ικανά να αξιολογήσουν τον κίνδυνο έναρξης δασικής πυρκαγιάς, αλλά και την παρουσία της. Το σύστημα που προτάθηκε στη μελέτη των Vega-Rodríguez et al. (2019) υλοποιήθηκε με βάση πίνακα ανάπτυξης LoPy4 που συνδέεται με πίνακα επέκτασης Pycom 3.0 (Σχήμα 2), μονάδα Arduino Mega 2560, αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας και ανιχνευτή φλόγας.



Εικόνα 2.1: Το Pycom Lopy και το Pycom Expansion Board 3.0.

Η κύρια συνιστώσα του προτεινόμενου συστήματος ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών είναι η επιτροπή ανάπτυξης LoPy4 της Pycom. Το LoPy4 είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης συμβατή με το MicroPython (WiFi, LoRa, SigFox και Bluetooth). Αυτός ο πίνακας είναι προγραμματιζόμενος με χρήση του MicroPython και των προσθέτων Pymakr για μια γρήγορη ανάπτυξη εφαρμογών IoT. Το LoPy4 μπορεί να διαμορφωθεί σε λειτουργία LoRa για την απευθείας αποστολή πακέτων μεταξύ πινάκων ανάπτυξης LoPy4 του ίδιου είδους. Αντιπροσωπεύει τον καλύτερο συνδυασμό ταχύτητας εφαρμογής και πρόσβασης στα νέα δίκτυα LPWAN από την Ευρώπη, τις ΗΠΑ, την Αφρική και την Ινδία. Το LoPy4 έχει πιστοποίηση CE, FCC, LoRaWAN και SigFox (Pycom, 2020). Για να προγραμματιστεί η μονάδα LoPy4, θα γίνει χρήση της μαζί με την κάρτα ανάπτυξης του πίνακα επέκτασης PyCom 3.0. Αυτός ο πίνακας επιτρέπει τη δημιουργία και τη σύνδεση νέων έργων IoT με WiPy 2.0, WiPy 3.0, LoPy, LoPy4, SiPy, FiPy και Gry. Ο πίνακας επέκτασης Pycom 3.0 έχει διαφορετικές βιβλιοθήκες και πρότυπα, επομένως, η ανάπτυξη μιας λύσης IoT γίνεται πολύ ευκολότερη και ταχύτερη (Sarwar et al., 2019).

Το Arduino Mega 2560 είναι μια πλακέτα εξοπλισμένη με μικροελεγκτή και βασίζεται στο ATmega2560. Η μονάδα διαθέτει 54 ακίδες για ψηφιακές εισόδους και εξόδους (15 από αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εξόδους PWM), 16 αναλογικές εισόδους, 4 UART, έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή με συχνότητα 16 MHz, μια σύνδεση USB, μια κεφαλίδα ICSP και ένα κουμπί επαναφοράς. Ο πίνακας Arduino Mega 2560 μπορεί να προγραμματιστεί με το λογισμικό Arduino (IDE) (Arduino, 2020). Επιλέχθηκε ο πίνακας Arduino, επειδή είναι ευκολότερος στη χρήση από τους φοιτητές και φθηνότερος.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας DHT11 είναι ένας φθηνός αισθητήρας βάσης, ο οποίος χρησιμοποιείται ταυτόχρονα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Η

μέτρηση της υγρασίας του αέρα εξασφαλίζεται από έναν αισθητήρα πυκνότητας υγρασίας, ενώ η θερμοκρασία μετριέται με τη χρήση thermistor, με αποτέλεσμα να παράγεται ψηφιακό σήμα στον πείρο δεδομένων. Ο αισθητήρας αυτός είναι ένας μικρομεσαίος, χαμηλής κατανάλωσης ρεύματος, που συνιστάται σε εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται απόκτηση δεδομένων με υψηλή συχνότητα (Sendra et al., 2018). Ο αισθητήρας λειτουργεί σε κύκλους του ενός δευτερολέπτου. Στον κύκλο αυτό, η μονάδα Arduino και ο αισθητήρας ανταλλάσσουν πληροφορίες σχετικά με τη θερμοκρασία και την υγρασία.

Ο αισθητήρας φλόγας είναι η συσκευή που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση είτε της πηγής πυρκαγιάς είτε οποιασδήποτε πηγής κεραυνού. Η ανίχνευση φλόγας μπορεί να γίνει από απόσταση ενός μέτρου και η ανίχνευση γωνίας είναι 60 μοίρες. Οι ανιχνευτές φλόγας με υπέρυθρες ή με μεγάλη ζώνη παρακολουθούν τη φασματική ζώνη σε υπέρυθρες για συγκεκριμένα μοντέλα που δίνονται με αέρια εν θερμώ. Αυτά αναγνωρίζονται με ειδική κάμερα, με θερμική απεικόνιση για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών, τη θερμογραφική κάμερα.

Καθώς η τεχνολογία IoT αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο, οι συσκευές που μπορούν να επικοινωνούν εξ αποστάσεως χωρίς να καταναλώνουν πολλή ενέργεια έχουν καταστεί περισσότερο απαραίτητες από ποτέ. Αυτή η πρόκληση του μέλλοντος εξυπηρετείται επί του παρόντος από τα δίκτυα ευρείας περιοχής μεγάλης ισχύος. Επί του παρόντος, υπάρχουν πολλές εφαρμογές που βασίζονται στις τεχνολογίες LPWA, αλλά οι περισσότερες από αυτές δεν έχουν ενσωματωμένη μονάδα LoRa.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη συμβάλει διαρκώς στην αύξηση του αριθμού των πυρκαγιών και των ζημιών που προκαλούνται από αυτές. Κάθε εποχή, εκτός από χιλιάδες εκτάρια δάσους που καταστρέφονται, πλήττονται και πολλά περιουσιακά στοιχεία και περιουσίες. Ακόμη περισσότερο, κινδυνεύουν τόσο οι πυροσβέστες όσο και οι ζωές των πολιτών. Στη μελέτη των Gaitan & Hojbot (2020), στο τμήμα Σχετιζόμενων Έργων παρουσιάστηκαν διαφορετικά συστήματα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών με βάση επικοινωνίες LPWA. Το σύστημα που προτείνεται στο άρθρο βασίζεται στην τεχνολογία LoRa και έχει ως κύριο συστατικό το συμβούλιο ανάπτυξης LoPy από την Rycorn. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ακραίες θερμοκρασίες, αλλά μπορεί να επηρεαστεί αν βρίσκεται στο μέσο της φωτιάς. Με τη βοήθεια του ανιχνευτή φλόγας, οι φλόγες μπορούν να επισημανθούν από απόσταση 100 εκατοστών. Εντοπίζει και αποστέλλει πληροφορίες σχετικά με πιθανή πυρκαγιά που ξεκινά.

Αν και τα περισσότερα συστήματα περιβαλλοντικής παρακολούθησης δημιουργούνται με τη χρήση πινάκων Arduino και διεπαφών επεκτάσεων IoT, αξίζει να τονιστεί ότι η καινοτομία αυτού του συστήματος είναι το γεγονός ότι δοκιμάζεται με τον πίνακα Arduino. Είναι ευκολότερο να δοκιμάσει κανείς τον πίνακα Arduino, επειδή υπάρχει λογισμικό στο διαδίκτυο και δεν είναι ακριβό. Η απόφαση χρήσης της τεχνολογίας LoRa στο προτεινόμενο σύστημα οφείλεται στις δυνατότητές του να συνδέει συσκευές χαμηλής κατανάλωσης που κατανέμονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, αποτελώντας μια καινοτόμο λύση για εκπομπές μεγάλων αποστάσεων με χαμηλή ισχύ σε υψηλές περιοχές κατανάλωσης, καθώς και επειδή έχει μεγάλη αποδοτικότητα στη μετάδοση δεδομένων μεγάλων αποστάσεων και χαμηλή ισχύ μεταφοράς.

2.5 Επίλογος

Στην αρχή του παρόντος κεφαλαίου έγινε μια παρουσίαση και έγινε μία εξήγηση του Διαδικτύου Των Πραγμάτων (IOT), στην συνέχεια παρουσιάστηκε το ασύρματου πρωτοκόλλου LoRaWAN

που θα χρησιμοποιείται στην υλοποίηση. Μετά έγιναν κάποιες αναφορές σε μερικές αρκετά ενδιαφέρουσες εφαρμογές και υλοποιήσεις με το πρωτόκολλο LoRaWAN. Τέλος έγινε μία αναφορά στις εφαρμογές για την πρόβλεψη πυρκαγιών με την χρήση του πρωτοκόλλου LoRaWAN.

Κεφάλαιο 3ο: Υλοποίηση στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας

3.1 Εισαγωγή

Στις δασικές εκτάσεις οι μικροελεγκτές που θα εγκατασταθούν θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από οικολογικά, φτηνά και ανακυκλώσιμα υλικά. Τα κουτιά στα οποία θα βρίσκονται και θα φυλάσσονται οι αισθητήρες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένοι από υλικά αντοχής (βροχή, αέρα, πανίδα).

Ο τρόπος εγκατάστασης των συσκευών θα πρέπει να είναι με έναν τρόπο με τον οποίο δεν θα καταστρέφεται η τοπική χλωρίδα της εκάστοτε περιοχής και να είναι εύκολη η ίδια η εγκατάσταση των συσκευών μέσα στο δάσος από ειδικό προσωπικό. Επιπρόσθετα η συνεχόμενη παροχή ενέργειας και η εξοικονόμηση της είναι ένα πολύ σημαντικό θέμα το οποίο χρήζει καίριας προσοχής. Την λύση σε αυτό έρχεται να δώσει η ηλιακή ενέργεια με τα ηλιακά panels τα οποία θα τοποθετηθούν μαζί με τα κουτιά για να έχει ο κάθε αισθητήρας ένα αυτόνομο και συνεχόμενο σύστημα ενέργειας.

Για τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν, ένα custom LoRaWan gateway και 2 μικροελεγκτές, εκ των οποίων ο ένας είναι ένα Arduino Leonardo (The Things Uno) με ένα embebit LoRaWan module και ο άλλος είναι ένας custom μικροελεγκτής, που είναι από το μηδέν κατασκευασμένος από την ομάδα του TLab θεσσαλονίκης το μNode. Ο λόγος χρήσης του δεύτερου μικροελεγκτή, όπως προαναφέρθηκε είναι η χρήση φθηνών και ανακυκλώσιμων υλικών.

Ακόμα για τις ανάγκες φυλάξης και αποθήκευσης των μικροελεγκτών χρησιμοποιήθηκαν δύο μεταλλικά κουτιά στα οποία τοποθετήθηκε και ένα ηλιακό panel για την συνεχόμενη τροφοδότηση των μικροελεγκτών. Τα κουτιά έχουν και προδιαγραφές για σωστή και εύκολη τοποθέτηση τους μέσα στα δάση.

Θα γίνει και μία αναφορά για την πλατφόρμα του The Things Network (TTN) που χρησιμοποιήθηκε για την αποστολή, επεξεργασία των δεδομένων και αποθήκευση αυτών. Η πλατφόρμα προσφέρει πολλές υπηρεσίες για εφαρμογές LoRaWAN.

Τέλος θα γίνει μία παρουσίαση από μία πολύ απλή εφαρμογή για κινητό Android σαν ένα παράδειγμα της τελικής εφαρμογής που είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στο μέλλον. Η παρούσα εφαρμογή είναι ένα demo της τελικής χωρίς να έχει όλες τις λειτουργίες της τελικής με τυχαίες τιμές.

3.2 Υλικό

Στο παρόν υποκεφάλαιο θα γίνει μία ανάλυση των μικροελεγκτών που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα και τις μετρήσεις, της gateway και των κουτιών. Γενικά θα γίνει μια αναφορά στα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν.

3.2.1 Arduino Leonardo (The thing Uno)



Εικόνα 3.1: Arduino Leonardo (The things uno)

Το the Things Uno βασίζεται στο Arduino Leonardo με ένα επιπλέον microchip LoRaWAN module, το οποίο του δίνει την δυνατότητα να επικοινωνεί ασύρματα με το πρωτόκολλο του LoRaWAN.

Πίνακας 3.2: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Arduino Leonardo

Microcontroller	ATmega32u4
Operation Voltage	5V
Input Voltage	7 - 12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	20
PWM (Pulse-width modular Channels)	7
Analog Input Channels	12
DC Current per I/O Pin	40mA
DC Current for 3.3V Pin	50mA
Flash Memory	32KB (ATmega32u4) εκ των οποίων τα 4KB χρησιμοποιούνται για το Bootloader
SRAM	2.5KB (ATmega32u4)
EEPROM	1KB (ATmega32u4)
Clock Speed	15MHz
Μίκος	68.6mm
Πλάτος	53.3mm
Βάρος	20

Η παροχή ρεύματος του Arduino Leonardo μπορεί να γίνει μέσω της θύρας micro USB ή με ένα εξωτερικό τροφοδοτικό.

Η εξωτερική (μη-USB) ισχύς μπορεί να προέρχεται είτε από προσαρμογέα AC-to-DC (wall-wart) είτε από μπαταρία. Ο προσαρμογέας μπορεί να συνδεθεί συνδέοντας ένα κεντρικό βύσμα 2,1 mm στην υποδοχή τροφοδοσίας του πίνακα. Οι οδηγήσεις από μια μπαταρία μπορούν να εισαχθούν στις κεφαλίδες πινάκων Gnd και Vin της υποδοχής POWER.

Τα power pins του μικροελεγκτή είναι πέντε(5) διαφορετικών ειδών.

Το VIN που αν τάση εισόδου στην πλακέτα Arduino όταν χρησιμοποιεί μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας (σε αντίθεση με 5V από τη σύνδεση USB ή άλλη ρυθμισμένη πηγή τροφοδοσίας). Μπορείτε να τροφοδοτήσετε τον μικροελεγκτή μέσω αυτού του pin, εάν τροφοδοτείται τάση μέσω του power jack, μπορείτε να έχετε πρόσβαση μέσω αυτού του pin.

Το 5V που είναι η ρυθμιζόμενη παροχή ρεύματος που χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή και άλλων εξαρτημάτων της πλακέτας. Αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από το VIN μέσω ρυθμιστή πάνω στη πλακέτα, είτε από USB ή άλλη ρυθμισμένη τάση 5V.

Το 3.3V που παράγει 3.3V από έναν ρυθμιστή πάνω στην πλακέτα. Ενώ η μέγιστη έλξη ρεύματος είναι 50 mA.

Το GND που είναι οι ακροδέκτες για την γείωση.

Το IOREF που είναι η τάση που λειτουργούν οι ακροδέκτες I/O της πλακέτας Arduino. Όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι 5V. Για παράδειγμα ένα Arduino Leonardo θα τροφοδοτούσε 5V σε αυτόν τον ακροδέκτη, αλλά αν τροφοδοτούσε με 3.3v. Η αποστολή σήματος σε αυτόν τον πείρο δεν κάνει τίποτα.

Η μνήμη του Arduino Leonardo είναι το ATmega32u4 και έχει 32KB με τα 4KB να είναι για το bootloader. Υπάρχουν επίσης και 2.5KB για την SRAM και 1KB για την βιβλιοθήκη EEPROM. Η EEPROM είναι μία μνήμη που διατηρεί τα περιεχόμενά της και μετά την διακοπή της τροφοδοσίας της. Μπορεί ακόμα να διαγραφεί και να επαναπρογραμματιστεί με νέες, ακόμη και πάνω στο κύκλωμα στο οποίο είναι τοποθετημένη.

Οι ακροδέκτες εισόδου εξόδου (I/O) είναι 20 και κάθε μία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως είσοδος ή έξοδος χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες pinMode(), digitalWrite() και digitalRead (). Λειτουργούν σε 5V. Κάθε ακροδέκτης μπορεί να παρέχει ή να λαμβάνει μέγιστο 40mA και έχει εσωτερική αντίσταση pull-up (αποσυνδεδεμένη από την προεπιλεγμένη) 20-50 kOhms. Επιπρόσθετα, ορισμένοι ακροδέκτες παρέχουν εξειδικευμένες λειτουργίες.

Ο σειριακός ακροδέκτης(serial) 0(RX) και 1(TX) χρησιμοποιείται για τη λήψη (RX) και τη μετάδοση (TX) TTL σειριακά δεδομένα χρησιμοποιώντας την σειριακή ικανότητα υλικού ATmega32U4. Σημειώστε ότι στο Leonardo, η κλάση Serial αναφέρεται στην επικοινωνία USB (CDC). για σειρά TTL στις ακίδες 0 και 1, χρησιμοποιήστε την κλάση Serial1.

Οι ακροδέκτες SDA(data line) και SCL(clock line) υποστηρίζουν επικοινωνία TWI χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη Wire library.

Οι εξωτερικές διακοπές 3 (διακοπή 0), 2 (διακοπή 1), 0 (διακοπή 2), 1 (διακοπή 3) και 7 (διακοπή 4) οι οποίοι μπορούν να διαμορφωθούν έτσι ώστε να προκαλούν διακοπή σε χαμηλή τιμή, άνοδο ή πτώση της άκρης ή αλλαγής τιμής.

Ο PWM ακροδέκτης παρέχει έξοδο PWM 8-bit με τη βιβλιοθήκη `analogWrite()`.

Οι ακροδέκτες ICSP υποστηρίζουν την επικοινωνία SPI χρησιμοποιώντας τη βιβλιοθήκη `SPI()`. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ακροδέκτες SPI δεν είναι συνδεδεμένοι σε καμία από τις ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου όπως είναι στο Arduino Uno. Είναι διαθέσιμες μόνο στην υποδοχή ICSP. Αυτό σημαίνει ότι εάν έχετε ασπίδα που χρησιμοποιεί SPI, αλλά δεν διαθέτει υποδοχή ICSP 6 ακίδων που συνδέεται με την κεφαλίδα ICSP 6 ακίδων του Leonardo, η ασπίδα δεν θα λειτουργήσει.

Υπάρχει και μία ενσωματωμένη λυχνία LED που όταν η τιμή της είναι υψηλή (HIGH) τότε η λυχνία είναι αναμμένη, ενώ αν η τιμή της είναι χαμηλή (LOW) τότε η λυχνία είναι απενεργοποιημένη.

Οι αναλογικές εισόδους (A0-A5, A6 - A11) είναι 12 συνολικά. Με την ένδειξη A0 έως A11, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως ψηφιακές εισοδοί/έξοδοι. Οι ακίδες A0-A5 εμφανίζονται στις ίδιες θέσεις όπως στο Uno. Οι εισοδοί A6-A11 βρίσκονται σε ψηφιακές ακίδες 4, 6, 8, 9, 10 και 12 αντίστοιχα. Κάθε αναλογική είσοδος παρέχει 10 ψηφία ανάλυσης (δηλαδή 1024 ψδιαφορετικές τιμές). Από προ προεπιλογή, οι αναλογικές μετρήσεις εισόδου είναι 5N, αν και είναι δυνατή η αλλαγή του ανώτερου άκρου του εύρους τους χρησιμοποιώντας την AREF ακίδα και την `analogReference()` λειτουργία.

Ακόμα υπάρχουν και δύο επιπλέον pins πάνω στον μικροελεγκτή το ένα είναι το AREF που είναι η τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την `analogReference()` βιβλιοθήκη. Και υπάρχει και το Reset pin που χρησιμοποιείτε για την επαναφορά του Arduino.

Στην επικοινωνία το Arduino Leonardo διαθέτει αρκετές δυνατότητες επικοινωνίας με έναν υπολογιστή, ένα άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ATmega32U4 παρέχει σειριακή επικοινωνία UART TTL (5V), η οποία είναι διαθέσιμη σε ψηφιακά pins 0 (RX) και 1 (TX). Το 32U4 επιτρέπει επίσης τη σειριακή (CDC) επικοινωνία μέσω USB και εμφανίζεται ως μια virtual com port για το λογισμικό στον υπολογιστή. Το chip λειτουργεί επίσης ως full speed USB 2.0 συσκευή, χρησιμοποιώντας τυπικούς οδηγούς USB COM. Στα Windows, απαιτείται ένα αρχείο .inf. Το λογισμικό Arduino περιλαμβάνει μια σειριακή οθόνη που επιτρέπει την αποστολή απλών δεδομένων κειμένου προς και από το διοικητικό συμβούλιο Arduino. Οι ενδεικτικές λυχνίες RX και TX στην πλακέτα θα αναβοσβήνουν όταν τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω της σύνδεσης USB στον υπολογιστή (αλλά όχι για σειριακή επικοινωνία στις ακίδες 0 και 1). Μια βιβλιοθήκη λογισμικού επιτρέπει την σειριακή επικοινωνία σε οποιαδήποτε ψηφιακό pin του Leonardo. Το ATmega32U4 υποστηρίζει επίσης την επικοινωνία I2C (TWI) και SPI. Το λογισμικό του Arduino περιλαμβάνει μια βιβλιοθήκη Wire για απλοποίηση της χρήσης του διαύλου I2C (documentation). Για την επικοινωνία του SPI, χρησιμοποιείται η SPI library.

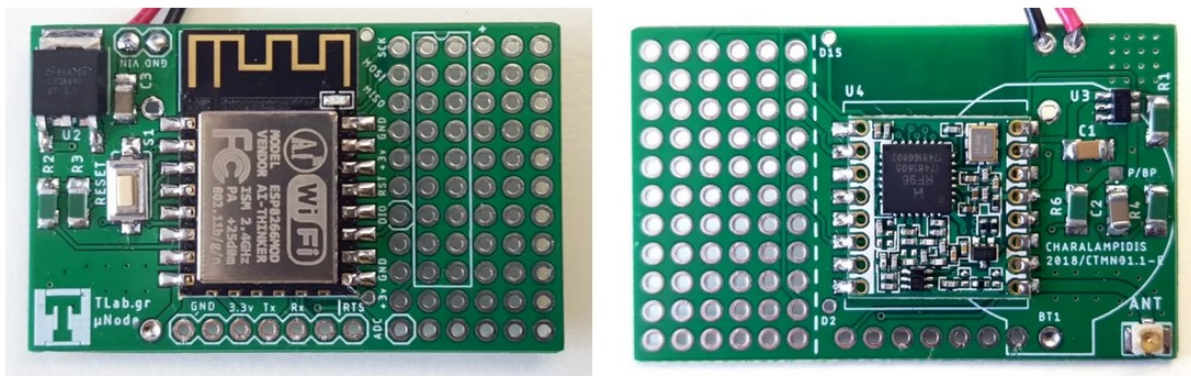
Ο προγραμματισμός του Arduino Leonardo γίνεται με το Arduino IDE. Επιλέξτε Arduino Leonardo από το μενού `tools > Board`. Το ATmega32U4 στο Arduino Leonardo έρχεται προεγκαθισμένο με ένα bootloader που επιτρέπει να ανεβάσετε νέο κώδικα σε αυτό χωρίς τη χρήση ενός εξωτερικού hardware programmer και επικοινωνεί με το πρωτόκολλο AVR109. Μπορείτε επίσης να παρακάμψετε τον bootloader και να προγραμματίσετε τον μικροελεγκτή μέσω της κεφαλίδας ICSP (In-Circuit Serial Programming) χρησιμοποιώντας το Arduino ISP ή παρόμοιο. Το Arduino προγραμματίζεται με μία γλώσσα προγραμματισμού που είναι πολύ ίδια με την C++.

Αντί να απαιτείται φυσική πίεση του κουμπιού επαναφοράς πριν από τη μεταφόρτωση, το Leonardo σχεδιάστηκε κατά τρόπο που να επιτρέπει την επαναφορά του από λογισμικό που εκτελείται σε συνδεδεμένο υπολογιστή. Η επαναφορά ενεργοποιείται όταν η σειριακή θύρα COM του εικονικού (CDC) του Leonardo ανοίγει στα 1200 baud και στη συνέχεια κλείνει. Όταν συμβεί αυτό, ο επεξεργαστής θα επαναφέρει το σπάσιμο της σύνδεσης USB στον υπολογιστή (πράγμα που σημαίνει ότι η εικονική σειριακή θύρα / θύρα COM θα εξαφανιστεί). Μετά την επαναφορά του επεξεργαστή, ο bootloader ξεκινά, παραμένοντας ενεργός για περίπου 8 δευτερόλεπτα. Ο bootloader μπορεί επίσης να ξεκινήσει πρίζοντας το κουμπί επαναφοράς στο Leonardo. Σημειώστε ότι όταν η κάρτα αρχικά ενεργοποιηθεί, θα μεταβεί κατευθείαν στο σκίτσο χρήστη, εάν υπάρχει, αντί να ξεκινήσει το bootloader.

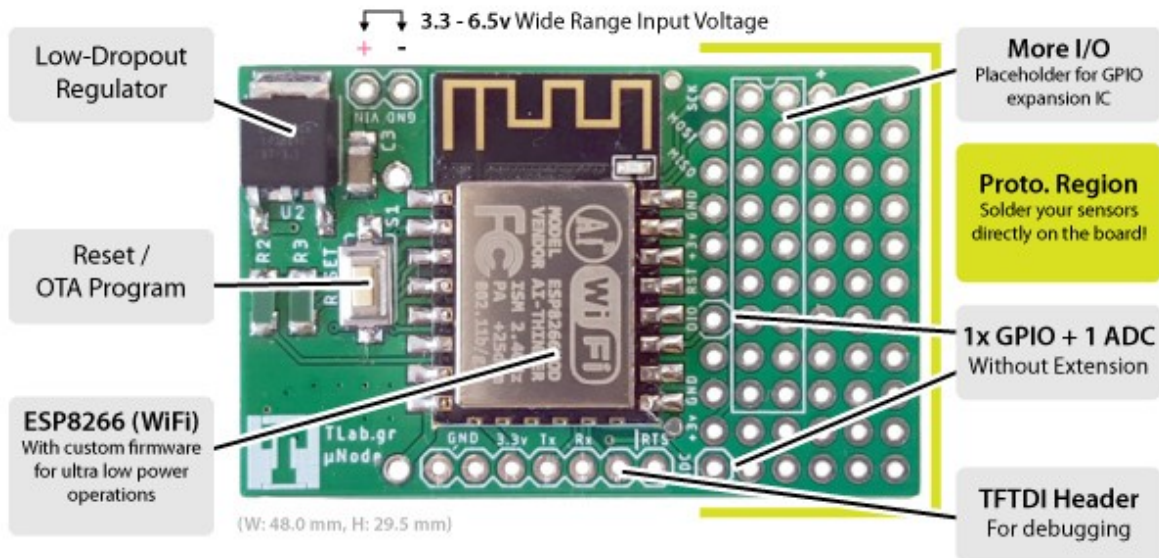
Το Leonardo έχει μια επαναφορά πολυφουσών που προστατεύει τις θύρες USB του υπολογιστή από υπερένταση. Αν και οι περισσότεροι υπολογιστές παρέχουν την δική τους εσωτερική προστασία, η ασφάλεια παρέχει επιπλέον προστασία. Εάν εφαρμοστεί περισσότερη από 500 mA στη θύρα USB, η ασφάλεια θα σπάσει αυτόματα τη σύνδεση μέχρι να αφαιρεθεί το βραχυκύκλωμα ή η υπερφόρτωση.

Το μέγιστο μήκος και πλάτος της πλακέτας είναι 2,7 και 2,1 ίντσες αντίστοιχα, ενώ ο σύνδεσμος USB και το βύσμα ισχύος ξεπερνούν την προηγούμενη διάσταση. Τέσσερις οπές βιδών επιτρέπουν την τοποθέτηση της πλακέτας σε επιφάνεια ή θήκη. Σημειώστε ότι η απόσταση μεταξύ των ψηφιακών ακίδων 7 και 8 είναι 160 μίλια (0.16"), όχι ένα ομοιόμορφο πολλαπλάσιο της απόστασης 100 μιλίων των άλλων ακίδων.

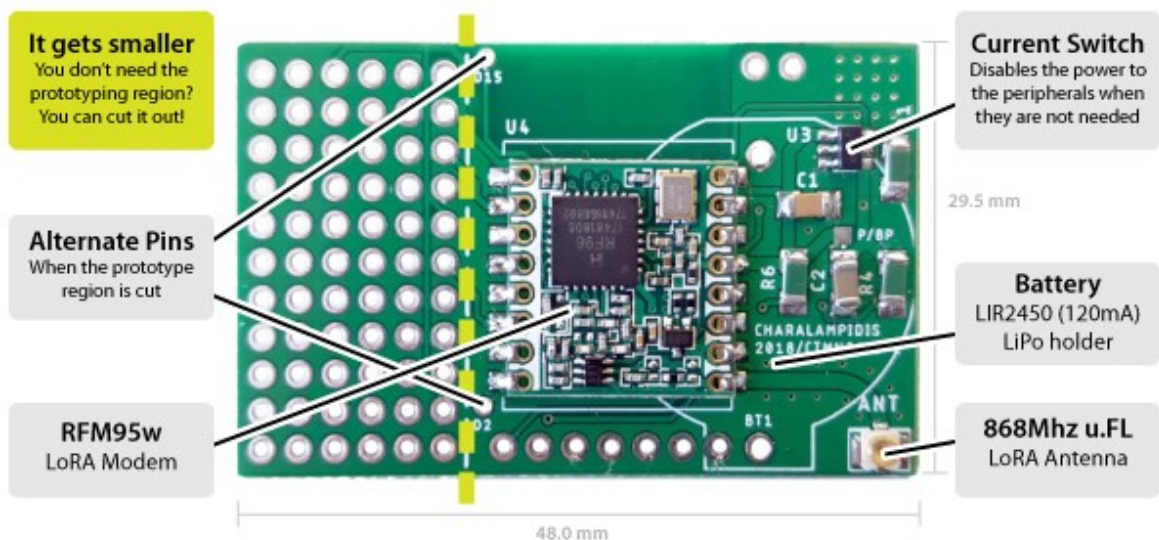
3.2.2 μNode



Εικόνα 3.2: μNode



Εικόνα 3.3: μNode v1.1 pcb μπροστά μεριά



Εικόνα 3.4: μNode v1.1 pcb πίσω μεριά

Το μNode είναι βασισμένο στο ESP8266 board, ακόμα έχει και έναν RFM95w (868Mhz) το οποίο είναι ένα LoRa radio το οποίο προσθέτει την δυνατότητα στο μNode να έχει ασύρματη επικοινωνία LoRaWan .

Η πλακέτα ενσωματώνει ένα ESP8266 MCU στην κορυφή και μια μονάδα RFM95 LoRa στο κάτω μέρος, και μπορεί εύκολα να προγραμματιστεί με ένα καλώδιο FTDI TTL. Ο ισχυρός επεξεργαστής XTensa της μονάδας ESP είναι ικανός να χειριστεί τις πιο απαιτητικές εφαρμογές, ενώ οι δυνατότητες χαμηλής ισχύος επιτρέπει στο τσιπ να περάσει σε κατάσταση βαθύ ύπνου (deep sleep mode), καταναλώνοντας λίγο λιγότερο από 10μΑ όταν είναι αδρανής.

Κεφάλαιο 3

Και δεδομένου ότι οι δέκτες (GPIO) του τσιπ ESP είναι αρκετά περιορισμένοι, υπάρχει μία περιοχή πρωτότυπου με τρόπο που ένα τσιπ επέκτασης MCP23S08 GPIO μπορεί να χωρέσει εκεί, δίνοντάς πολλά περισσότερους δέκτες (GPIO).

Αλλά το πιο ισχυρό χαρακτηριστικό του πίνακα είναι η υποστήριξη WiFi, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετος φορέας geolocation, όταν δεν υπάρχουν αρκετές πύλες LoRa σε εμβέλεια. Όταν χρησιμοποιείται προσεκτικά, το ESP μπορεί να πραγματοποιήσει μερική, παθητική σάρωση WiFi σε 1 δευτερόλεπτο, με κόστος περίπου 80mA ανά σάρωση. Με αυτή την λειτουργία γίνεται να φορτωθεί κώδικας χωρίς την χρήση καλωδίων και χωρίς την φυσική παρουσία προσωπικού. Ακόμα αν χρειαστεί να γίνουν βελτιώσεις στον κώδικα του μικροελεγκτή με το WiFi μπορεί να γίνει πολύ πιο γρήγορα και αυτοματοποιημένα.

Ακόμα μπορεί να γίνει πολύ γρήγορα έλεγχος των μικροελεγκτών και τις τοποθεσίας τους μέσω του GPS που παρέχεται από το ESP μέσα στα δάση και στις δασικές εκτάσεις.



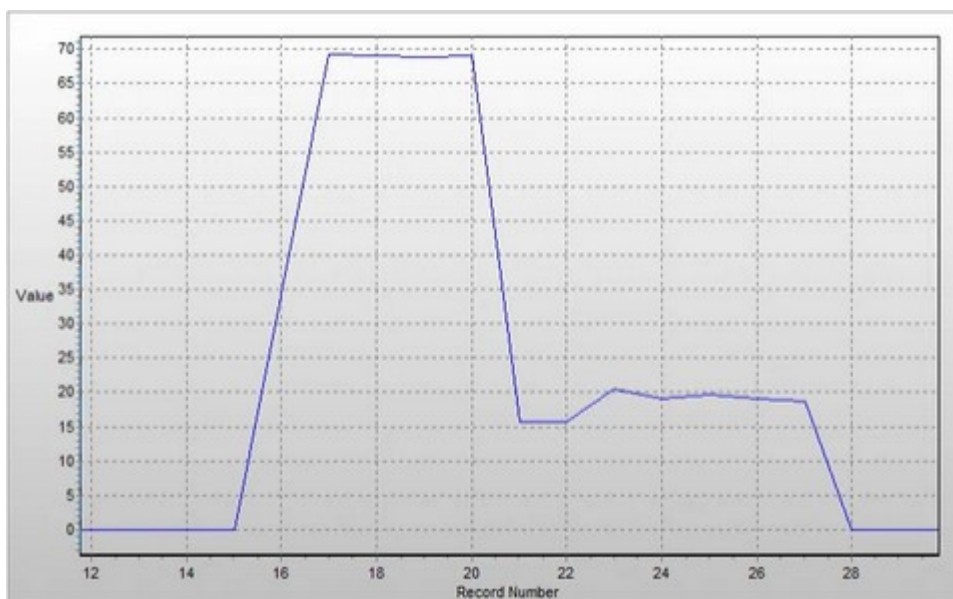
Εικόνα 3.5: μNode GPS τοποθεσία



Εικόνα 3.6: μNode GPS τοποθεσία σε μεγάλες αποστάσεις

Η κατανάλωση ενέργειας είναι εξαιρετικά μικρή με μία μπαταρία στα 3.6V. Σε ένα WiFi έλεγχο η κατανάλωση είναι στα 68mA αν η διάρκειά του είναι 1.5 δευτερόλεπτα. Ενώ κατά την ανταλλαγή πακέτων LoRa η κατανάλωση είναι στα 20mA αν ο συνολικός χρόνος της ανταλλαγής είναι 3 δευτερόλεπτα. Και τέλος σε κατάσταση ύπνου καταναλώνει μόνο 20μΑ.

Συνολικά καταναλώνει 162 mA στα 4.5 δευτερόλεπτα. Όπου αυτό σημαίνει ότι καταναλώνει μόνο 0.2 mA ανά μετάδοση. Έτσι βγαίνει ότι σε μία τυπική μετάδοση πάνω σε μία κυψέλη του 1000mA, το μNode μπορεί να μεταδώσει 5 χιλιάδες φορές.



Εικόνα 3.7: μNode μετρήσεις

Κεφάλαιο 3

Η παραπάνω εικόνα δείχνει κάποιες από τις μετρήσεις που έχουν γίνει στο μNode καθόλη τη διαδικασία των πειραμάτων που έγιναν για τον έλεγχο της ενέργειας που καταναλώνει σε διάφορες καταστάσεις. Το πείραμα ξεκίνησε με το μNode να είναι σε κατάσταση ύπνου όπου η κατανάλωση είναι αρκετά μικρή. Στη συνέχεια έγινε ένας έλεγχος στο WiFi (WiFi scanning) όπου η κατανάλωση αυξήθηκε αρκετά και μετά από αυτόν τον έλεγχο στάλθηκαν δύο(2) πακέτα μέσω LoRaWAN όπου η κατανάλωση έπεσε περίπου στο μισό όπου είναι και η μέση τιμή περίπου της συνολικής κατανάλωσης του μικροελεγκτή. Και τέλος ξαναμπαίνει σε κατάσταση ύπνου όπως ορίζει και το πρωτόκολλο του LoRaWAN για το ότι μία συσκευή δεν μπορεί να δεσμεύει συνέχεια ένα κανάλι μετάδοσης.

Ένα παράδειγμα κώδικα στο μNode με δικές του βιβλιοθήκες:

Κώδικας 3.1: Παράδειγμα μNode

```

#include <Arduino.h>
#include <uNode.hpp>

/**
 * uNode βιβλιοθήκη επεξεργασίας δεδομένων συσκευής για LORA επικοινωνία
 */
uNodeConfig unode_config = {
  .lora = {
    //το κλειδί του LORA δικτύου
    .netKey = { ... },
    //το κλειδί για την εφαρμογή LORA
    .appKey = { ... },
    //η μοναδική διεύθυνση του μικροελεγκτή
    .devAddr = ... ,
    .tx_timeout = 30000,
    .tx_retries = 10
  }
};

/**
 * Ένα handler το οποίο θα ακυρωθεί όταν το πακέτο σταλεί
 */
void packetSentHandler(int status) {
  // Μπαίνει για ύπνο για 30 δευτερόλεπτα
  // (θα επαναφέρει το πρόγραμμα όταν ξυπνήσει )
  uNode.deepSleep(30);
}

/**
 * Κώδικας
 */
void setup() {
  uNode.setup();

  // Στέλνει ένα πακέτο μέσω του LORA και καλεί το δοσμένο callback εδώ είναι το
  "Hello World"
  // όταν η μεταφορά έχει ολοκληρωθεί
  static const char * message = "Hello World!";
  uNode.sendLoRa(message, sizeof(message), packetSentHandler);
}

/**
 * Λούπα προγράμματος για να γίνεται η όλη διαδικασία συνέχεια
 */
void loop() {
  uNode.step();
}

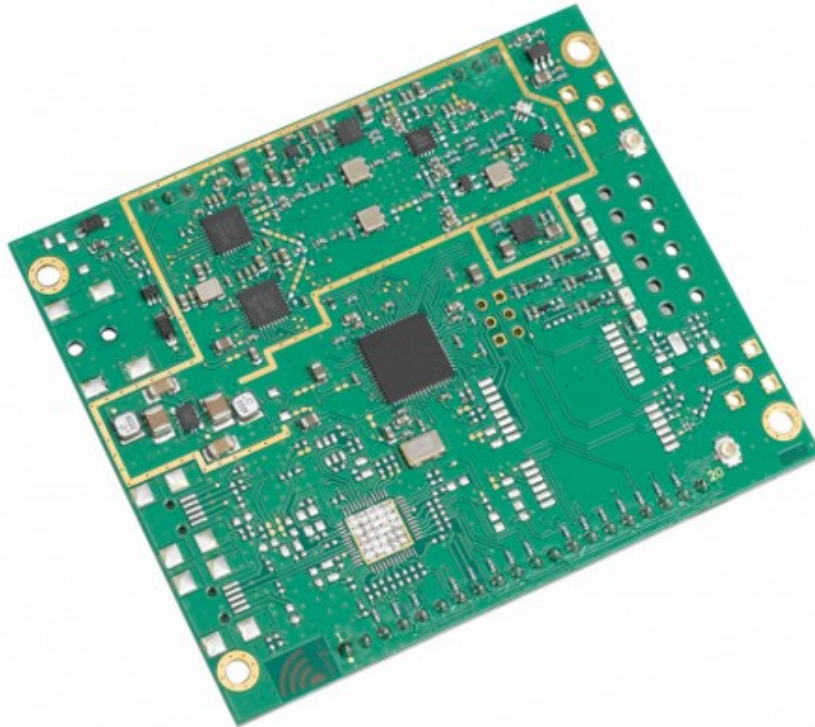
```

3.2.3 Πύλη (Gateway)

Η LoRa πύλη (Gateway) είναι μία χειροποίητη πύλη (Gateway) με την χρήση ενός Raspberry Pi 3. Τα υλικά της κεραίας είναι

Πίνακας 3.3: Εξαρτήματα Πύλης(Gateway)

iC880A-SPI concentrator board
u.fl to SMA - Pigtail cable for iC880A-SPI
Raspberry Pi 3
Antenna : ANT-8WHIP3H-SMA
Power Supply 2.5A with micro USB
RPi to iC880a interface : iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1
WiFi dongle



Εικόνα 3.8: iC880A-SPI - LoRaWAN Concentrator 868 MHz

Το iC880A-SPI concentrator board στοχεύει σε μια τεράστια ποικιλία εφαρμογών, όπως εφαρμογές Smart Metering και IoT. Αυτή η μονάδα συμπτυκνωτή μπορεί να ενσωματωθεί σε μια πύλη ως πλήρης διεπαφή RF. Παρέχει το δυνατότητα ενεργοποίησης της ισχυρής επικοινωνίας μεταξύ μιας πύλης LoRa και ενός τεράστιου όγκου τελικών κόμβων LoRa σε μεγάλο εύρος απόστασης. Το iC880A μπορεί να λάβει έως και 8 πακέτα LoRa που αποστέλλονται ταυτόχρονα με διαφορετικούς παράγοντες διάδοσης και επίσης σε διαφορετικά κανάλια. Σε συνδυασμό με μια ενσωματωμένη πλακέτα Linux όπως το Raspberry Pi, Beagle Bone, Banana Pi και το λογισμικό HAL από το Github, μπορεί να ρυθμιστεί εύκολα μια πλήρης πύλη (Gateway) LoRaWAN.



Εικόνα 3.9: u.fl to SMA - Pigtail cable for iC880A-SPI

Το καλώδιο της κεραίας είναι ένα απλό καλώδιο pigtail για το iC880A-SPI με ένα άκρο U.FL για την κεραία και το άλλο άκρο SMA για την σύνδεση πάνω στην πλακέτα iC880A-SPI.



Εικόνα 3.10: Raspberry Pi 3

Το Raspberry Pi 3 θα χρησιμοποιηθεί για να φορτωθεί ο κώδικας για την πύλη (Gateway) και είναι το μέρος όπου θα γίνονται όλες οι διαδικασίες ελέγχου.



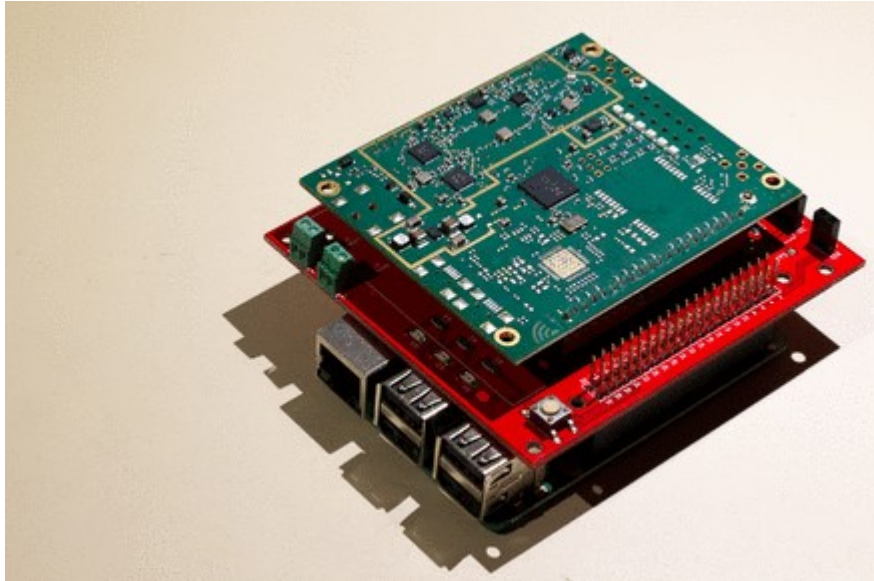
Εικόνα 3.11: Κεραία ANT-8WHIP3H-SMA

Η κεραία της πύλης (Gateway) είναι μία 3dBi κεραία στα 868MHz.

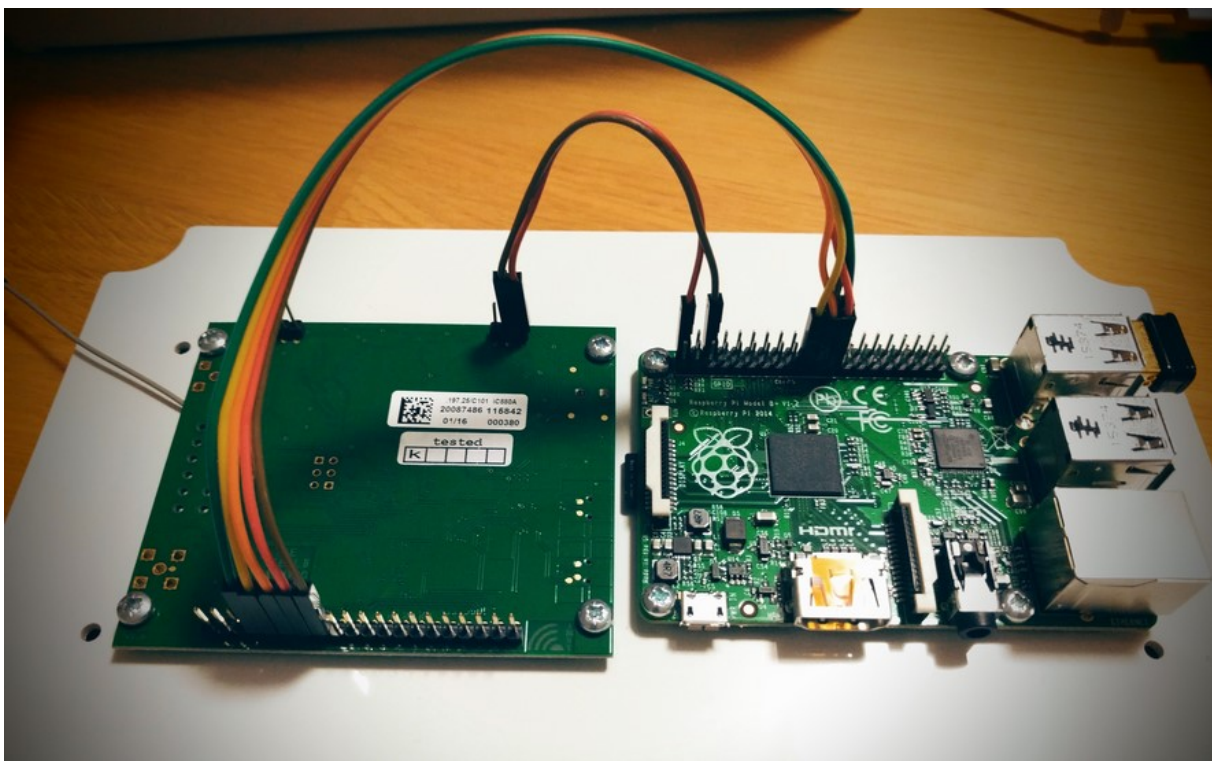


Εικόνα 3.12: iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1

Σαν ασπίδα στο Raspberry Pi 3 χρησιμοποιήθηκε το iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1 για να συνδεθεί το iC880A-SPI πάνω στο Raspberry Pi 3 χωρίς την χρήση επιπλέον καλωδίων.



Εικόνα 3.13: Raspberry Pi 3 με iC880A LoRaWAN Gateway Backplane v2.1
και το iC880A-SPI



Εικόνα 3.14: Σύνδεση iC880A-SPI με το Raspberry Pi 3 μέσω καλωδίων

Αν χρησιμοποιήσουμε καλώδια τότε η χρήση της προαναφερθείσας ασπίδας δεν είναι χρήσιμη. Τα καλώδια μπορούν να συνδεθούν με πολύ απλό τρόπο.

Στην δεδομένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος τρόπος σύνδεσης διότι δεν εφάρμοξε η πύλη μέσα στα κουτιά που χρησιμοποιήθηκαν για την φύλαξη και εγκατάσταση των υλικών. Δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους δύο τρόπους σύνδεσης και κατασκευής.

Η εγκατάσταση του λογισμικού και οι ρυθμίσεις που έγιναν για την πύλη είναι είναι πάνω στο Raspberry Pi 3 όλη η διαδικασία γίνεται μέσω της γραμμής εντολών του Raspberry Pi 3.

Για αρχή πρέπει να γίνει η ενεργοποίηση του SPI στο Raspberry Pi 3. Για αυτό χρησιμοποιούμε το *raspi-config* για να κάνουμε κάποιες αλλαγές. Οι αλλαγές αυτές είναι [5] *Interfacing options* -> *P4 SPI* για την ενεργοποίηση του SPI αλλά πρέπει να γίνει και επέκταση του filesystem [7] *Advanced options* -> *A1 Expand filesystem*. Η εντολή για πρόσβαση στο *raspi-config* είναι `$ sudo raspi-config`.

Μετά πρέπει να γίνει προσαρμογή της ώρας και της περιοχής του Raspberry Pi 3 με τις εντολές `$ sudo dpkg-reconfigure locales` και `$ sudo dpkg-reconfigure tzdata`. Εδώ πρέπει να μπουν οι τοπικές ρυθμίσεις του χρήστη.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει η εγκατάσταση του λογισμικού GIT για το κατέβασμα και εγκατάσταση του λογισμικού της πύλης μέσα από το GitHub. Παράλληλα δημιουργούμε και έναν χρήστη με μόνιμα χαρακτηριστικά διαχειριστή για την σύνδεση στην πλατφόρμα The Things Network (TTN). Αυτή η διαδικασία γίνεται με τέσσερις (4) απλές εντολές στη γραμμή εντολών του Raspberry Pi 3. Πιο συγκεκριμένα, `$ sudo apt-get install git` για την εγκατάσταση του GIT, `$ sudo adduser ttn` για την δημιουργία χρήστη με το όνομα *ttn* και `$ sudo adduser ttn sudo` για να δοθούν στο χρήστη προνόμια διαχειριστή και η τελευταία εντολή είναι `$ sudo visudo` όπου εδώ θα πρέπει να προστεθεί μία γραμμή το αρχείο που θα ανοίξει για να μην είναι αναγκαία η χρήση του κωδικού για τον χρήστη *ttn* η γραμμή αυτή είναι `ttn ALL=(ALL) NOPASSWD: ALL`.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει αποσύνδεση από τον αρχικό χρήστη του Raspberry Pi 3 τον *pi*, να γίνει σύνδεση με τον καινούργιο χρήστη και τέλος να γίνει διαγραφή του παλαιού χρήστη *pi*. Η διαγραφή του χρήστη *pi* γίνεται μέσα από μία εντολή στη γραμμή εντολών η εντολή αυτή είναι `$ sudo userdel -rf pi`.

Τελευταίο βήμα για την λειτουργία της πύλης (Gateway) είναι να γίνει μία παραμετροποίηση των ρυθμίσεων WiFi του Raspberry Pi 3 και η εγκατάσταση και εκτέλεση του κώδικα για την πύλη. Για αρχή με την εντολή `$ sudo nano /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf` όπου αντί για το *nano* μπορεί να γίνει η χρήση του *Vim* του *GNU Emacs*, *Neovim* ή οποιουδήποτε μορφοποιητή κειμένου για την γραμμή εντολών των Linux. Μέσα στο αρχείο *wpa_supplicant.conf* στην τελευταία γραμμή προσθέτουμε το *ssid* και το *psk* του δρομολογητή.

Κώδικας 3.2: Μορφοποίηση ρυθμίσεων WiFi του Raspberry Pi 3

```
network={
    ssid="Το SSID του δρομολογητή"
    psk="Τον κωδικό του δρομολογητή"
}
```

Η παραπάνω διαδικασία βοηθάει στο να υπάρχει μόνιμη σύνδεση της πύλης με το WiFi.

Για να κατέβει και να τρέξει ο βασικός κώδικας της πύλης πρέπει να κατέβει από έναν αποθηκευτικό χώρο του GITHUB και να εκτελεστεί. Εδώ γίνεται η χρήση τριών (3) εντολών.

`$ git clone -b spi https://github.com/ttn-zh/ic880a-gateway.git ~/ic880a-gateway` για να κατέβει ο κώδικας που θα χρησιμοποιηθεί για την πύλη, `$ cd ~/ic880a-gateway` για να μεταφερθείτε στον φάκελο που υπάρχει το αρχείο για εκτέλεση και `$ sudo ./install.sh spi` για να εκτελεστεί το αρχείο με τον κώδικα.

Με αυτή την διαδικασία η πύλη είναι έτοιμη για εγκατάσταση και χρήση.

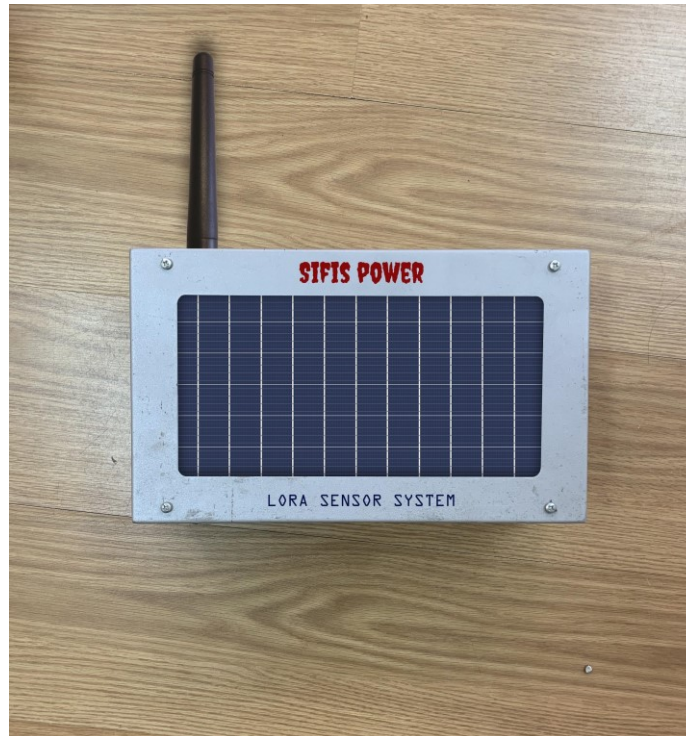
Τέλος πρέπει να γίνει η δήλωση της πύλης στην πλατφόρμα του The Things Network (TTN). Η δήλωση γίνεται μέσα από 3 (3) απλά βήματα. Για αρχή πρέπει να γίνει ένας λογαριασμός μέσα στην πλατφόρμα μετά πρέπει να μεταφερθούμε στο διαχειριστικό της πλατφόρμας με το όνομα κονσόλα (Console), στη συνέχεια πρέπει να γίνει δήλωση της πύλης όπου θα γίνει η δήλωση του EUI της πύλης η οποία είναι σαν την φυσική διεύθυνση της συσκευής έχει την μορφή 024238FFFE0D91F8 ή B827EBFFFE87BD11 μετά πρέπει να τοποθετηθεί η ύπυρος που βρίσκεται η πύλη στην προκειμένη περίπτωση Ευρώπη γιατί για το LoRa υπάρχουν διαφορετικές συχνότητες για κάθε ύπυρο στην Ευρώπη είναι στα 868Mhz. Έτσι με αυτή τη διαδικασία η πύλη (Gateway) είναι έτοιμη για χρήση.

3.2.4 Κουτιά

Τα κουτιά που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία είναι δύο μεταλλικά κουτιά με προδιαγραφές για μικρά ηλιακά πάνελ και με προδιαγραφές σωστής εγκατάστασης μέσα σε δάση. Τα κουτιά σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν από τον Δημήτρη Αποστόλου ο οποίος είναι Βιομηχανικός Σχεδιαστής και μέλος του TLab.



Εικόνα 3.15: Τα δύο κουτιά εγκατάστασης

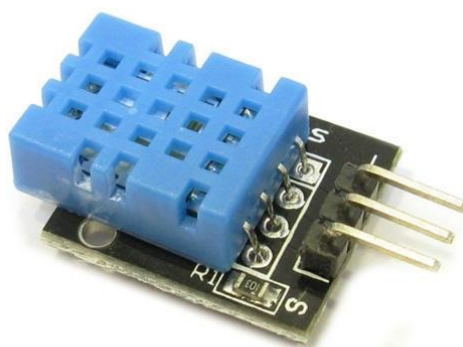


Εικόνα 3.16: Ολοκληρωμένο κουτί με την πύλη στο εσωτερικό του

3.3 Κώδικας αισθητήρων

Οι αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τριών (3) ειδών, ο πρώτος είναι για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα, ο δεύτερος είναι για την υγρασία του εδάφους και ο τρίτος είναι αισθητήρας ανιχνευτής φωτιάς.

3.3.1 Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας Αέρα



Εικόνα 3.17: Αισθητήρας Θερμοκρασίας και Υγρασίας

Ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιείται για την ανάγνωση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα μιας περιοχής. Η χρήση του είναι απαραίτητη για την ανάγνωση των καιρικών συνθηκών μίας περιοχής επομένως και τους κινδύνους που υπάρχουν σε αυτή για πυρκαγιές.

Κώδικας 3.3: Κώδικας αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας μαζί με LoRaWan επικοινωνία

```
// Πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω βιβλιοθήκες.
// - DHT Sensor Library: https://github.com/adafruit/DHT-sensor-library
// - Adafruit Unified Sensor Lib: https://github.com/adafruit/Adafruit\_Sensor

// Βάζουμε τη DHT βιβλιοθήκη.
#include "DHT.h"

// Βάζουμε την βιβλιοθήκη για την πλατφόρμα The things Network.
#include <TheThingsNetwork.h>

// Εδώ περνάμε σε στις μεταβλητές DevAddr την διεύθυνση του μικροελεγκτή π.χ.
// Arduino Leonardo ή μNode, NwkSKey το κλειδί ασφαλείας του δικτύου και AppSKey
το //κλειδί ασφαλείας της εφαρμογής που το παίρνουμε μέσα από το διαχειριστικό
της //πλατφόρμας The Things Network.

const char *devAddr = "26011BDD";
const char *nwkSKey = "0507001B1CE2E4596D2CE964FD3BDC37";
const char *appSKey = "9587490383A2126A6B3987D112FBE8AE";

// Ορίζουμε τα Serial του Lora για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στην πλατφόρμα
The //Things Network.
#define loraSerial Serial1
#define debugSerial Serial

// Αντικαθιστούμε το REPLACE_ME ήτε TTN_FP_EU868 είτε TTN_FP_US915 αναλόγως με
την //περιοχή που βρισκόμαστε στην προκυμένη περίπτωση TTN_FP_EU868.
// #define freqPlan REPLACE_ME
#define freqPlan TTN_FP_EU868

TheThingsNetwork ttn(loraSerial, debugSerial, freqPlan);

#define DHTPIN 2 // Ο ψηφιακός ακροδέκτης που συνδέει τον DHT αισθητήρα
// Επιπλέον ακροδέκτες για το ESP8266 μικροελεγκτή μπορούν να είναι: 3, 4, 5,
12, 13 //ή 14 --.
// Ο ακροδέκτης 15 μπορεί να λειτουργήσει αλλά θα πρέπει ο αισθητήρας να
αποσυνδεθεί //κατά το πέρασμα του κώδικα στον μικροελεγκτή.

// Υπάρχουν τρεις (3) διαφορετικοί τύποι DHT αισθητήρων ο αυτός που
χρησιμοποιούμε //είναι ο DHT11 και εδώ ορίζουμε και το τύπο του αισθητήρα. Οι
υπόλοιποι δύο είναι ο //DHT22 και ο DHT21.
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
// #define DHTTYPE DHT22 //77g DHT 22 (AM2302), AM2321
// #define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)
```

```

// Συνδέουμε την παροχή ρεύματος που είναι ο πρώτος (1) ακροδέκτης αισθητήρα στα
του //μικροελεγκτή Arduino Leonardo +5V.
// NOTE: Αν ο μικροελεγκτής δεν υποστηρίζει +5V παροχή ρεύματος τότε πρέπει να
//βάλουμε 3.3V αντί για 5V.
// Συνδέουμε τον ακροδέκτη δύο (2) του σένσορα σε οποιαδήποτε ψηφιακή υποδοχή
του //μικροελεγκτή στην δεδομένη περίπτωση D2.
// Και τέλος συνδέουμε τον τρίτο (3) ακροδέκτη (στα δεξιά) με την γειωση του
//μικροελεγκτή (GROUND).

// Αρχικοποιούμε τον DHT αισθητήρα.
// Μέσα από την μέθοδο dht() και περνάμε δύο ορίσματα το DHTPIN που είναι ο
ψηφιακός //ακροδέκτης που συνδέεται ο αισθητήρας και DHTTYPE που είναι το είδος
του DHT //αισθητήρα και τα δύο ορίσματα τα έχουμε ορίσει προηγουμένως.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
//Λέμε μετά από πόσα milliseconds θα ξεκινήσει η μετάδοση.
  loraSerial.begin(57600);
//περνάμε την διεύθυνση του μικροελεγκτή, το κλειδί ασφαλείας του δικτύου και το
//κλειδί ασφαλείας της εφαρμογής.
  ttn.personalize(devAddr, nwkSKey, appSKey);
//Ξεκινάει η μετάδοση στο από τον μικροελεγκτή προς την σειριακή πόρτα το IDE
του //Arduino.
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("DHT test!"));

  dht.begin();
}

void loop() {
  // Περιμένει μερικά δευτερόλεπτα μεταξύ των μετρήσεων.
  delay(5000);

  // Για να διαβάσει την θερμοκρασία ή την υγρασία παίρνει περίπου 250
//milliseconds.
  // Ο αισθητήρας για να διαβάσει την υγρασία περνάει 2 δευτερόλεπτα (είναι
//αρκετά αργός αισθητήρας).
  float h = dht.readHumidity();
  // Διαβάζει την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (Celsius)
  float t = dht.readTemperature();
  // Διαβάζει την θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάιτ (Fahrenheit) (isFahrenheit =
true)
  float f = dht.readTemperature(true);

  // Τσεκάρει να ο αισθητήρας απέτυχε να διαβάσει και αρχίζει ξανά από την αρχή.
  if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {
    Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
    return;
  }
}

```

```

// Υπολογίζει την θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάιτ (Fahrenheit).
float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
// Υπολογίζει την θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (Celsius) (isFahreheit =
false).
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);

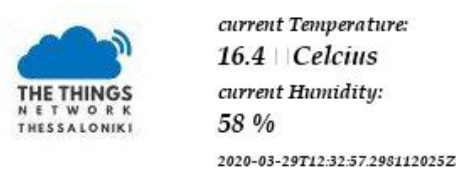
// Χρησιμοποιούμε τον τύπο uint16_t για την δημιουργία ενός πίνακα για την
//καλύτερη διαχείριση των float μεταβλητών t και h. Ο τύπος uint16_t
χρησιμοποιείται //για 16bit. Με αυτόν τον τρόπο δεν παίρνουμε μεγάλες τιμές από
της float μεταβλητές //μας.
uint16_t values[2];
values[0] = t * 100;
values[1] = h * 100;

// Δημιουργούμε έναν πίνακα char με 4 χαρακτήρες. Και με το memcpy αντιγράφει 4
// // χαρακτήρες από την περιοχή μνήμης value στην περιοχή μνήμης buf. Στην
δεδομένη // // περίπτωση από τον πίνακα values[2] αντιγράφει 4 χαρακτήρες στον
πίνακα buf[4].
char buf[4];
memcpy(buf, values, 4);

// Εκτύπωση αποτελεσμάτων.
Serial.print(F("Humidity: "));
Serial.print(h);
Serial.print(F("% Temperature: "));
Serial.print(t);
Serial.print(F("°C "));
Serial.print(f);
Serial.print(F("°F Heat index: "));
Serial.print(hic);
Serial.print(F("°C "));
Serial.print(hif);
Serial.println(F("°F"));

// Στέλνει τα δεδομένα στην πλατφόρμα The Things Network σε μορφή Byte.
ttn.sendBytes(buf, 4);
}

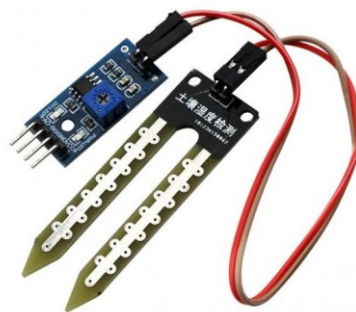
```



Εικόνα 3.18: Μετρήσεις αισθητήρα Θερμοκρασίας και Υγρασίας

Η παραπάνω εικόνα δείχνει μία μέτρηση από τον αισθητήρα Θερμοκρασίας και Υγρασίας που τα δεδομένα μέσα από την πύλη στάλθηκαν στην πλατφόρμα του The Things Network και από εκεί με HTTP σε μία πολύ απλή σελίδα HTML που χρησιμοποιήθηκε για την ωραιότερη εμφάνιση των μετρήσεων του αισθητήρα. Η σελίδα χρησιμοποιήθηκε και για άλλες εφαρμογές της κοινότητας του The Things Network Θεσσαλονίκης.

3.3.2 Αισθητήρας Υγρασίας εδάφους



Εικόνα 3.19: Αισθητήρας υγρασίας εδάφους

Η υγρασία του εδάφους είναι αρκετά σημαντική για την πρόβλεψη πυρκαγιών, λόγω των πεσμένων φύλλων από τα δέντρα ή τα κλαδιών που μπορούν να είναι πολύ επικίνδυνες εστίες φωτιάς μέσα σε δασικές εκτάσεις.

Κώδικας 3.4: Κώδικας αισθητήρα υγρασίας εδάφους μαζί με LoRaWan επικοινωνία

```
// Βάζουμε την βιβλιοθήκη για την πλατφόρμα The things Network.
#include "TheThingsNetwork.h"

// Εδώ περνάμε σε στις μεταβλητές DevAddr την διεύθυνση του μικροελεγκτή π.χ.
// Arduino Leonardo ή μNode, NwkSKey το κλειδί ασφαλείας του δικτύου και AppSKey
το //κλειδί ασφαλείας της εφαρμογής που το παίρνουμε μέσα από το διαχειριστικό
της //πλατφόρμας The Things Network.
const char *devAddr = "26011BDD";
const char *nwkSKey = "0507001B1CE2E4596D2CE964FD3BDC37";
const char *appSKey = "9587490383A2126A6B3987D112FBE8AE";
```

```

// Ορίζουμε τα Serial του Lora για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στην πλατφόρμα
The //Things Network.
#define loraSerial Serial1

// Αντικαθιστούμε το REPLACE_ME ήτε TTN_FP_EU868 είτε TTN_FP_US915 αναλόγως με
την //περιοχή που βρισκόμαστε στην προκυμένη περίπτωση TTN_FP_EU868.
// #define freqPlan REPLACE_ME
#define freqPlan TTN_FP_EU868

TheThingsNetwork ttn(loraSerial, debugSerial, freqPlan);

// Ορίζουμε 3 μεταβλητές η πρώτη είναι σε ποιον ακροδεκτη είναι συνδεδεμένος ο
//αισθητήρας και οι υπόλοιπες δύο μεταβλητές είναι για την αρχικοποίηση των
τιμών //που θα διαβάσει ο αισθητήρας.
int sensorPin = A0;
int sensorValue = 0;
int percent = 0;

void setup() {
//Λέμε μετά από πόσα milliseconds θα ξεκινήσει η μετάδοση.
  loraSerial.begin(57600);
//περνάμε την διεύθυνση του μικροελεγκτή, το κλειδί ασφαλείας του δικτύου και το
//κλειδί ασφαλείας της εφαρμογής.
  ttn.personalize(devAddr, nwkSKey, appSKey);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  delay(5000);
  //Διαβάζει από την αναλογική πόρτα A0.
  sensorValue = analogRead(sensorPin);
  //Καλεί την μέθοδο convertToPercent() και περνάει την τιμή sensorValue που
//διάβασε ο αισθητήρας σαν παράμετρο της μεθόδου.
  percent = convertToPercent(sensorValue);
//Δημιουργούμε έναν πίνακα τύπου byte για να περάσουμε το αποτέλεσμα του
αισθητήρα για να σταλεί στην πύλη. Αλλιώς δεν μπορεί να γίνει αυτή η αποστολή.
  byte payload[1];
//Τοποθετούμε το αποτέλεσμα του αισθητήρα στην πρώτη θέση του πίνακα για να
γίνει η //τιμή του σε byte για να μπορέσει να γίνει η αποστολή.
  payload[0] = hightByte(percent);

  //Καλούμε την μέθοδο για να γίνει η εκτύπωση των αποτελεσμάτων στη σειριακή
οθόνη //του Arduino IDE.
  printValuesToSerial();

  // Στέλνει τα δεδομένα στην πλατφόρμα The Things Network σε μορφή Byte.
  ttn.sendBytes(payload, sizeof(payload));
  delay(3000);
}
//Η μέθοδος για την μετατροπή των τιμών που διαβάζει ο αισθητήρας σε κλάσμα επί

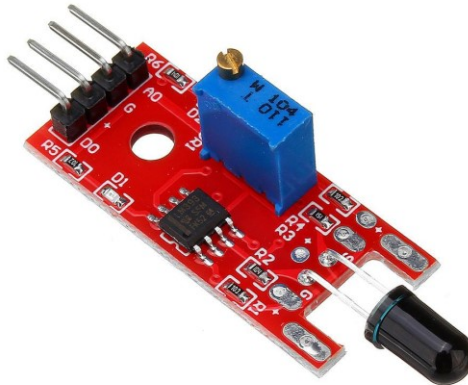
```

```

της //εκατό (100) παράδειγμα 35%.
int convertToPercent(int value)
{
    int percentValue = 0;
    //Χρησιμοποιούμε την μέθοδο map για να μετατρέψουμε την τιμή που διάβασε ο
    //αισθητήρας σε μία τιμή από το μηδέν (0) μέχρι το εκατό (100) για μπορεί να
    γίνει //επί της εκατό (%).
    percentValue = map(value, 1023, 465, 0, 100);
    return percentValue;
}
//Η μέθοδος για την εμφάνιση των δεδομένων.
void printValuesToSerial()
{
    Serial.print("\n\n The analog value of humidity is : ");
    Serial.print(sensorValue);
    Serial.print("\nThe humidity value is: ");
    Serial.print(percent);
    Serial.print("Percent");
    Serial.print("%");
}
}

```

3.3.3 Αισθητήρας Φωτιάς



Εικόνα 3.20: Αισθητήρας φωτιάς

Ο αισθητήρας φωτιάς είναι για μία πρόσθετη λειτουργία για την εφαρμογή που αναγνωρίζει αν υπάρχει φωτιά σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Σε περίπτωση ύπαρξης φωτιάς και αναγνώριση της από τον αισθητήρα η εφαρμογή θα υποποιεί τον χρήστη με ένα μήνυμα κινδύνου στην εφαρμογή.

Κώδικας 3.2: Κώδικας αισθητήρα φωτιάς μαζί με LoRaWan επικοινωνία

```

// Βάζουμε την βιβλιοθήκη για την πλατφόρμα The things Network.
#include "TheThingsNetwork.h"
#define debugSerial Serial

```

```

// Εδώ περνάμε σε στις μεταβλητές DevAddr την διεύθυνση του μικροελεγκτή π.χ.
//Arduino Leonardo ή μNode, NwkSKey το κλειδί ασφαλείας του δικτύου και AppSKey
το //κλειδί ασφαλείας της εφαρμογής που το παίρνουμε μέσα από το διαχειριστικό
της //πλατφόρμας The Things Network.
const char *devAddr = "26011BDD";
const char *nwkSKey = "0507001B1CE2E4596D2CE964FD3BDC37";
const char *appSKey = "9587490383A2126A6B3987D112FBE8AE";

// Ορίζουμε τα Serial του Lora για την εμφάνιση των αποτελεσμάτων στην πλατφόρμα
The //Things Network.
#define loraSerial Serial

// Αντικαθιστούμε το REPLACE_ME ήτε TTN_FP_EU868 είτε TTN_FP_US915 αναλόγως με
την //περιοχή που βρισκόμαστε στην προκυμένη περίπτωση TTN_FP_EU868.
// #define freqPlan REPLACE_ME
#define freqPlan TTN_FP_EU868

TheThingsNetwork ttn(loraSerial, debugSerial, freqPlan);
#define FLAME 2 // Συνδέουμε το ψηφιακό ακροδέκτη D0 του μικροελεγκτή σε αυτόν
τον //ακροδέκτη του αισθητήρα.
void setup() {
    //Λέμε μετά από πόσα milliseconds θα ξεκινήσει η μετάδοση.
    loraSerial.begin(57600);
    ttn.personalize(devAddr, nwkSKey, appSKey);

    Serial.begin(9600);

    //Ορίζουμε τον FLAME ακροδέκτη ως INPUT τιμή.
    pinMode(FLAME, INPUT);
}

//Ορίζουμε δύο μεταβλητές
String fireString = "Fire! Fire!";
String noFireString = "No Fire";

void loop() {

    // Διαβάζει από τον αισθητήρα φωτιάς.
    int fire = digitalRead(FLAME);
    //Δημιουργούμε έναν πίνακα τύπου byte για να περάσουμε το αποτέλεσμα του
    αισθητήρα για να σταλεί στην πύλη. Αλλιώς δεν μπορεί να γίνει αυτή η αποστολή.
    byte payload[1];
    //Γίνεται έλεγχος για το αν η τιμή του ακροδέκτη FLAME / flame είναι HIGH ή LOW
    //στην πρώτη περίπτωση υπάρχει φωτιά ενώ στην δεύτερη όχι.
    if( fire == HIGH){
        Serial.println(fireString);
    }
    //Τοποθετούμε το αποτέλεσμα του αισθητήρα στην πρώτη θέση του πίνακα για να
    γίνει η //τιμή του σε byte για να μπορέσει να γίνει η αποστολή.
    payload[0] = hightByte(fireString);
}

```

```

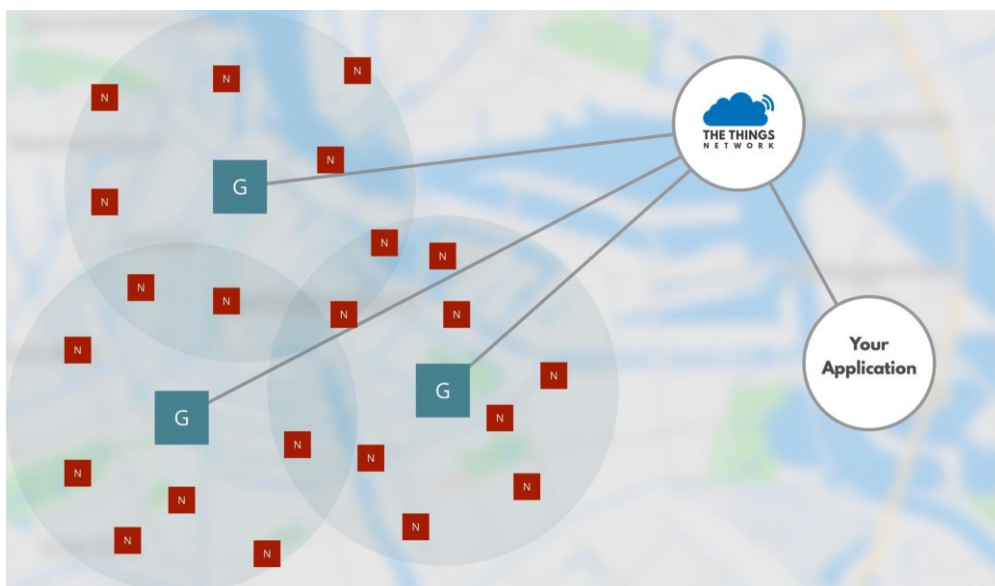
}else{
  Serial.println(noFireString);
  //Όπως αντίστοιχα και ε'δώ, τοποθετούμε το αποτέλεσμα του αισθητήρα στην πρώτη
  θέση του πίνακα για να γίνει η //τιμή του σε byte για να μπορέσει να γίνει η
  αποστολή.
  payload[0] = hightByte(noFireString);
}
// Στέλνει τα δεδομένα στην πλατφόρμα The Things Network σε μορφή Byte.
ttn.sendBytes(payload, sizeof(payload));
delay(200);
}

```

3.4 Η πλατφόρμα του The Things Network

Για την μεταφορά, αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων χρησιμοποιείται η πλατφόρμα του The Thing Network η συγκεκριμένη πλατφόρμα είναι ανοιχτή προς όλους τους κατασκευαστές εφαρμογών LoRaWAN. Παρέχει μία πληθώρα δυνατοτήτων και το πιο σημαντικό είναι ότι αν κάποιος κατασκευάσει μία εφαρμογή οπουδήποτε και θέλει να την εγκαταστήσω οπουδήποτε αλλού μπορεί απλά να την εγκαταστήσω και η εφαρμογή α παίζει ατυθίας. Αυτό γίνεται λόγω του περιβάλλοντος που έχει χτίσει γύρω της αυτή η πλατφόρμα και ότι είναι ανοιχτή για όλους. Για παράδειγμα αν κάποιος έχει μία πύλη και θέλει να την διαθέσει για το LoRaWAN και θέλει να είναι ανοιχτή αυτή η πύλη προς όλους, μέσα από την πλατφόρμα του The Things Network μπορεί να το κάνει με μεγάλη ευκολία.

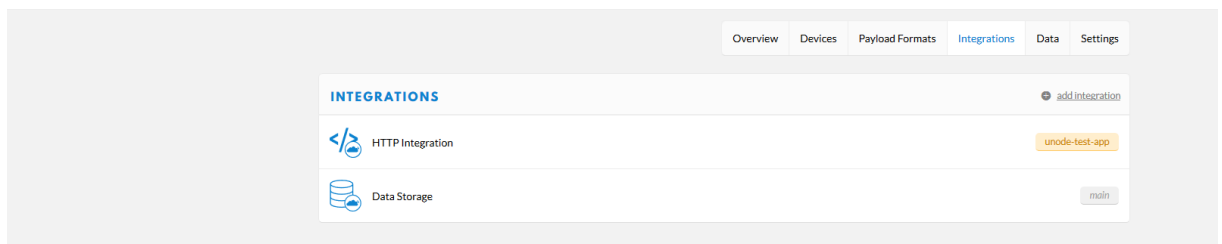
Ο τρόπος λειτουργίας είναι πολύ εύκολος και έχει αναλυθεί πιο πάνω στο κεφάλαιο με την πύλη το μόνο που χρειάζεται είναι να γίνει μία απλή ρύθμιση στην πύλη για να μπορεί να στέλνει δεδομένα την πλατφόρμα.



Εικόνα 3.21: Ένα απλό σχεδιάγραμμα της λειτουργίας της πλατφόρμας The Things Network

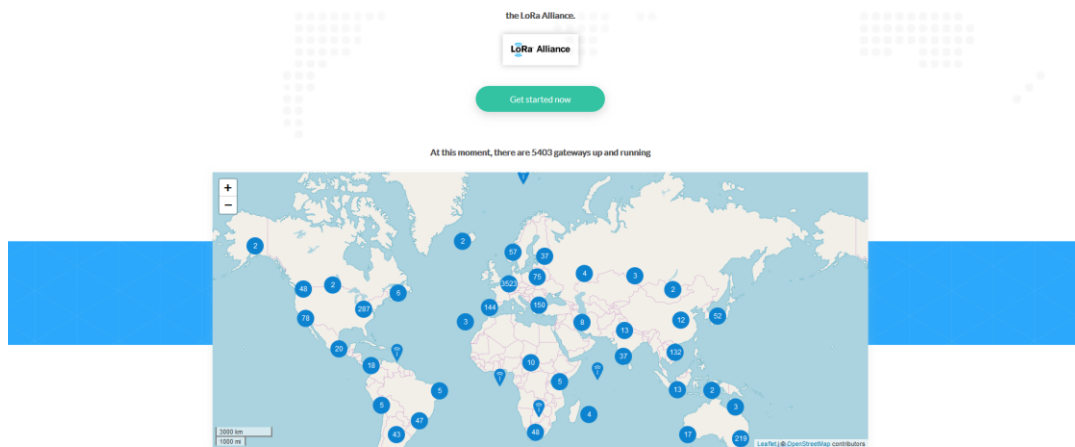
Στο παραπάνω σχεδιάγραμμα απεικονίζεται ο τρόπος λειτουργίας της πλατφόρμας. Με το γράμμα N συμβολίζονται οι συσκευές μας δηλαδή οι μικροελεγκτές μας. Με το γράμμα G συμβολίζονται

οι πύλες του LoRaWAN που επικοινωνούν με την πλατφόρμα και μεταδίδουν τα αποτελέσματα που έχουν λάβει από τους μικροελεγκτές. Στη συνέχεια πάνω δεξιά απεικονίζεται η πλατφόρμα του The Things Network όπου γίνεται η αποθήκευση των δεδομένων τα οποία αποστέλλονται στην στους διακομιστές όπου γίνεται η επεξεργασία τους και τέλος η αποστολή των αποτελεσμάτων στην τελική εφαρμογή στον χρήστη.

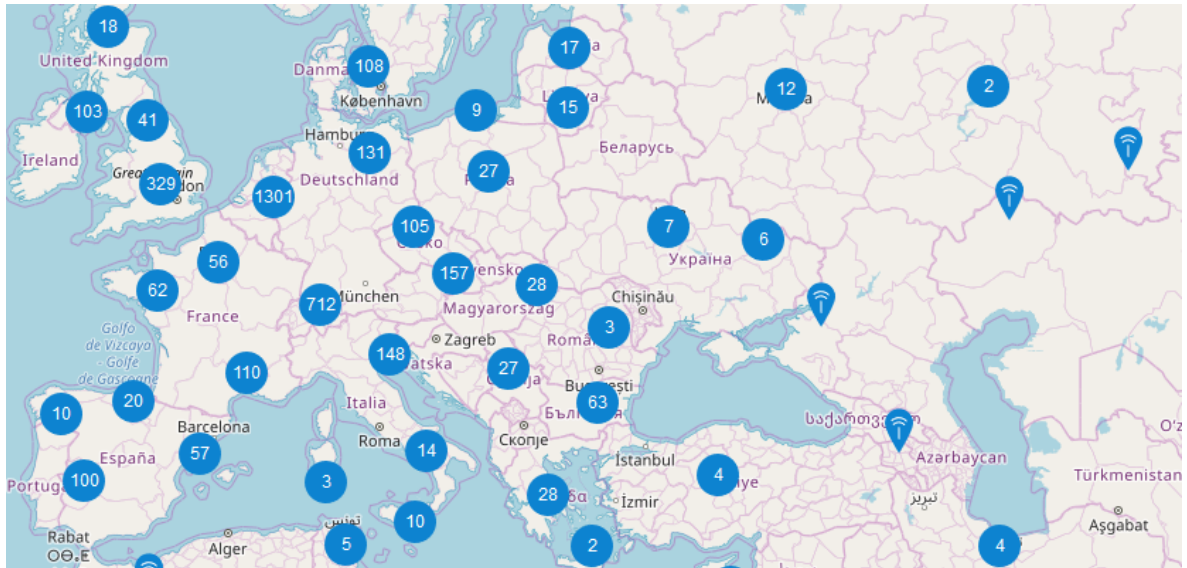


Εικόνα 3.22: Υπηρεσίες που παρέχει η πλατφόρμα The Things Network

Όπως έχει αναφερθεί η πλατφόρμα του The Things Network παρέχει πολλαπλές υπηρεσίες για αποθήκευση και αποστολή των δεδομένων. Στην παρούσα περίπτωση έχουν χρησιμοποιηθεί μία βάση δεδομένων για την προσωρινή αποθήκευση των δεδομένων και ένα HTTP Integration για την αποστολή αυτών στους κεντρικούς σταθμούς (servers) για ανάλυση τους και από εκεί στην εφαρμογή.

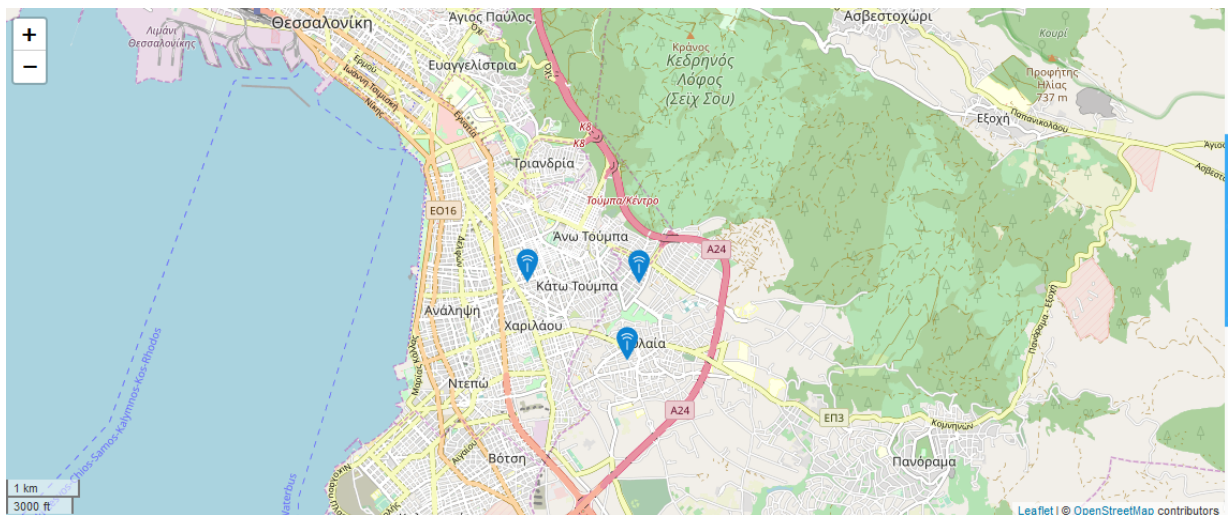


Εικόνα 3.23: Υπάρχουσες πύλες σε όλο τον κόσμο



Εικόνα 3.24: Υπάρχουσες πύλες στην Ευρώπη και Ασία

Οι δύο παραπάνω εικόνες[Εικόνα 3.21, Εικόνα 3.22] δείχνουν τις πύλες που υπάρχουν αυτή την στιγμή δηλωμένες στην πλατφόρμα The Things Network και μπορούν να υποστηρίξουν την παρούσα εφαρμογή στις συγκεκριμένες περιοχές. Παρόλο που η εφαρμογή έχει προδιαγραφές στην συχνότητα που παίζει (867-869 MHz) για την Ευρώπη μπορεί πολύ εύκολα με πολύ μικρές παραμορφώσεις να εγκατασταθεί και σε άλλες ηπείρους όπως Νότια Αμερική (902-928 MHz) και Κίνα (470-510MHz).

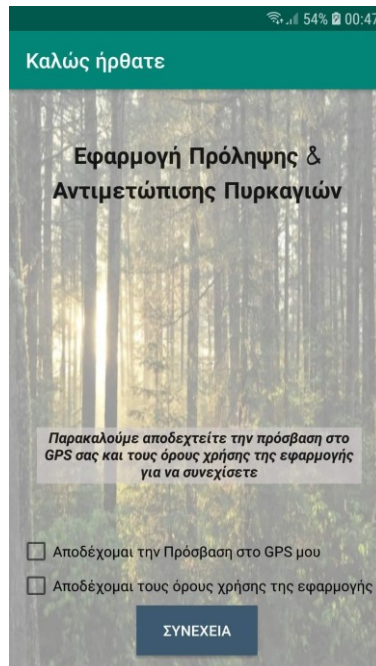


Εικόνα 3.25: Υπάρχουσες πύλες στην Θεσσαλονίκη από την Κοινότητα του The Things Network της Θεσσαλονίκης.

Στην παρούσα φωτογραφία παρουσιάζονται οι κεραίες στην Θεσσαλονίκη που ανήκουν στην κοινότητα στην εφαρμογή έγινε χρήση και των τριών πυλών αλλά η κύρια πύλη είναι η πύλη που αναφέρθηκε παραπάνω και στην εικόνα είναι η αριστερή πύλη.

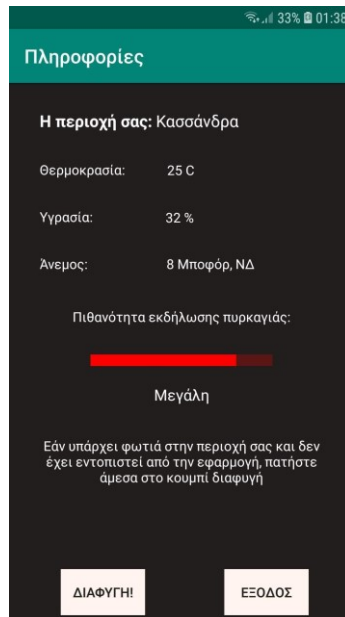
3.5 Εφαρμογή Σε Κινητό Τηλέφωνο

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε είναι μία πολύ απλή και πρωταρχική εφαρμογή για κινητά. Κατασκευάστηκε για να δείξει ότι υπάρχει η δυνατότητα και το πλάνο για μία μελλοντική ολοκληρωμένη εφαρμογή με όλες τις δυνατότητες για την επιτευξη του σκοπου, δηλαδή να μπορεί να ενημερώνει τους χρήστες κάθε περιοχής για την πιθανότητα πυρκαγιάς στην περιοχή τους. Εδώ η εφαρμογή παίρνει τυχαίες τιμές για την ανάγκη παρουσίαση του τρόπου χρήσης της. Έχει γίνει χρήση του API της Google Maps για την εμφάνιση των χαρτών.



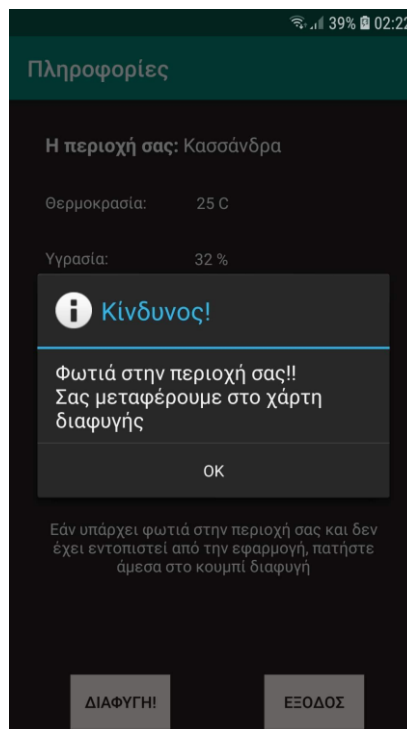
Εικόνα 3.26: Αρχική εικόνα εφαρμογής.

Σε αυτή την Εικόνα γίνεται η παρουσίαση της αρχικής εικόνας της εφαρμογής. Ζητάει από τον χρήστη να αποδεχτεί η εφαρμογή να χρησιμοποιεί το GPS και την τοποθεσία του χρήστη όπως και τους όρους χρήσης της εφαρμογής. Όλα τα παραπάνω είναι σύμφωνα με τους κανονισμούς της προστασίας προσωπικών δεδομένων (GDPR).



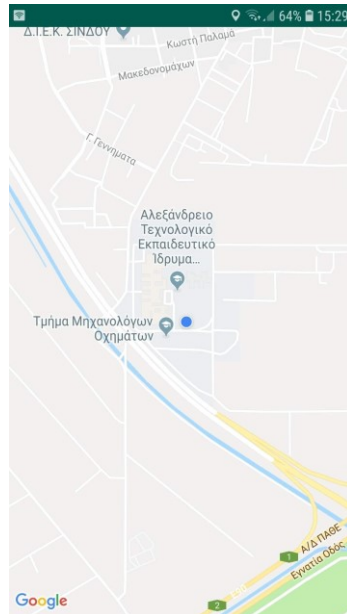
Εικόνα 3.27: Αρχική εικόνα εφαρμογής.

Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται η βασική εικόνα της εφαρμογής και χωρίζεται σε τέσσερα (3) διαφορετικά επίπεδα. Το πρώτο είναι όλα τα δεδομένα του καιρού για την περιοχή που βρίσκεται ο χρήστης. Το δεύτερο είναι μία μπάρα για την πιθανότητα πυρκαγιάς που βασίζεται στα δεδομένα της περιοχής του χρήστη. Και το τρίτο μέρος είναι ένα κείμενο με οδηγίες και δύο(2) κουμπιά το ένα είναι για να μεταφέρει τον χρήστη στους χάρτες και να του υποδείξει μία διαδρομή διαφυγής, ενώ το δεύτερο είναι απλά για έξοδο και κλείσιμο από την εφαρμογή.



Εικόνα 3.28: Μήνυμα κινδύνου πυρκαγιάς της εφαρμογής

Η εικόνα παραπάνω δείχνει ένα μήνυμα σε περίπτωση που εντοπιστεί πυρκαγιά στην περιοχή του χρήστη. Μετά από αυτό το μήνυμα η εφαρμογή επιστρέφει στον χρήστη τους χάρτες και τους τρόπους διαφυγής από το σημείο που βρίσκεται.



Εικόνα 3.29: Χάρτες εφαρμογής

Στην παραπάνω εικόνα είναι ο χάρτης της εφαρμογής ο οποίος έχει παρθεί μέσα από το API της Google Maps. Στην παρούσα κατάσταση δείχνει μόνο την τοποθεσία του χρήστη αλλά όχι τους τρόπους διαφυγής. Αφού και η ίδια η εφαρμογή είναι σε πολύ πρωταρχικό στάδιο.

3.6 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύθηκε η προσπάθεια υλοποίησης μιας εφαρμογής για την πρόβλεψη πυρκαγιών σε δασικές εκτάσεις. Έγινε και μία ανάλυση όλων των συσκευών που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής, όπως και ανάλυση του κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία των συσκευών και των αισθητήρων. Τέλος έγινε μία παρουσίαση μια πολύς απλής εφαρμογής για κινητά.

Κεφάλαιο 4ο: Προτάσεις βελτίωσης

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία ανάλυση κάποιων τεχνολογιών που θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την βελτίωση, την επέκταση και την υλοποίηση της εφαρμογής σε πραγματικό περιβάλλον με δάση. Οι τεχνολογίες που προτείνονται για την χρήση της ασύρματης επικοινωνίας είναι δύο (2). Η μία έχει αναφερθεί στο δεύτερο κεφάλαιο αλλά τώρα την χρησιμοποιούμε μαζί με την τεχνολογία ROLAWAN και το όνομα της είναι LoRaUAV και η τεχνολογία LoRa Wireless Mesh η οποία είναι μία τοπολογία. Ακόμα θα γίνει μία λεπτομερή ανάλυση για ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης πυρκαγιών για δάση. Τέλος θα προταθούν και επιπλέον μερικές βελτιωτικές κινήσεις για την εφαρμογή στο κινητό για την διευκόλυνση κάθε χρήστη και την ασφάλεια του κατά την χρήση της εφαρμογής.

4.2 Δίκτυο LoRaWAN με χρήση WiFi Mesh από UAV Gateways

Τα τελευταία χρόνια, η πανταχού παρουσία του διαδικτύου και η μικρογραφία των υπολογιστικών συσκευών δημιούργησαν το IoT. Σε πολλές περιπτώσεις, οι συσκευές IoT υπόκεινται σε πολύ αυστηρούς περιορισμούς ισχύος και για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε μια νέα γκάμα πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής ισχύος με σκοπό την υποστήριξη “δικτύων χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής (Low Power Wide Area - LPWANs)” (Raza et al., 2017). Αυτά τα δίκτυα σχηματίζονται από απλές συσκευές που επικοινωνούν σπάνια σε μεγάλες αποστάσεις σε χαμηλά bitrate. Το LoRa είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες και ευέλικτες τεχνολογίες που επιτρέπουν τα LPWAN. Το LoRa είναι μια τεχνική διαμόρφωσης στενής ζώνης που βασίζεται στη διαμόρφωση του Chirp Spread Spectrum (CSS), μια τεχνολογία που επιτυγχάνει υψηλή αντοχή ενάντια σε παράγοντες υποβάθμισης καναλιών, όπως η απώλεια της διαδρομής, το ξεθώριασμα πολλαπλών διαδρομών, η σκίαση και η μετατόπιση Doppler. Εκμεταλλευόμενο τη “διασπορά φάσματος (Spread Spectrum - SS)”, την ορθογωνιότητα των chirp και τις καλές ιδιότητες διάδοσης του φάσματος sub-GHz, το LoRa παρέχει επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις. Ο χρόνος του αέρα, η κατανάλωση ισχύος και οι ρυθμοί δεδομένων μπορούν να ελεγχθούν από διαφορετικούς συνδυασμούς “παραγόντων διασποράς (Spreading Factors - SF)” και εύρους ζώνης (125 kHz ή 250 kHz) (Stellin et al., 2020).

Τα “μη επανδρωμένα εναέρια αεροσκάφη (Unmanned Aerial Vehicles - UAVs)”, τα οποία ονομάζονται ευρέως αεροσκάφη, είναι ιπτάμενα οχήματα που λειτουργούν χωρίς ανθρώπινο πιλότο. Εδώ και πολλά χρόνια τα αεροσκάφη αποτελούσαν αποκλειστικό προνόμιο του στρατού, ενώ πλέον διατίθενται στο εμπόριο σε χαμηλές τιμές, καθιστώντας τα ελκυστικά για μια μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Τα αεροσκάφη διατίθενται σε διαφορετικά σχήματα, με τα πιο συνηθισμένα να είναι τα τετράτροχα και αυτά με τα σταθερά πτερύγια. Σε περίπτωση καταστροφής, για παράδειγμα λόγω πλημμύρας ή πυρκαγιάς, τα UAV μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υποστηρίξουν τους διασώστες, να εντοπίσουν τα θύματα και να δημιουργήσουν ένα δίκτυο ανασυγκρότησης όταν διαταράσσονται οι εγκαταστάσεις επικοινωνίας. Τα UAV παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες λύσεις όπως κίνηση σε περιβάλλον χωρίς εμπόδια, καλύτερη επισκόπηση της περιοχής, (Line of Sight - LoS) με στόχους και ταχύτερη απόκτηση δεδομένων σε μεγάλες περιοχές. Ωστόσο, τα UAV εξακολουθούν να έχουν περιορισμένο εύρος πτήσεων,

αυτονομία και χρόνο πτήσης. Τα UAV θεωρούνται όλο και περισσότερο ως μια πιθανή λύση για την παροχή ραδιοφωνικής κάλυψης σε μια περιοχή-στόχο. Η ενσωμάτωση των πρωτοκόλλων UAV και LPWAN σε σενάρια καταστροφών μπορεί να προσφέρει έναν νέο οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικό τρόπο για την επίλυση προβλημάτων που προκύπτουν κατά τη διάρκεια των επιχειρήσεων των διασωστών. Στο άρθρο των Stellin et al. (2020), επιλέχθηκε το σενάριο υποστήριξης επιχειρήσεων σε περίπτωση πυρκαγιάς. Οι πυρκαγιές επηρεάζουν αγροτικές ή προαστιακές περιοχές όπου η κάλυψη συμβατικών δικτύων είναι αδύναμη ή απουσιάζει ή είναι ευάλωτη στην ίδια την πυρκαγιά. Τα UAV μπορούν επομένως να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ενός δικτύου αναμετάδοσης μεταξύ του διοικητικού σταθμού που διαχειρίζεται τις επιχειρήσεις και των πυροσβεστών, παρέχοντας επίγνωση της κατάστασης στους διασώστες. Η κινητικότητα των πυροσβεστών αντιπροσωπεύει μια μεγάλη πρόκληση, δεδομένου ότι τα UAV πρέπει να διατηρήσουν τόσο την κάλυψη της περιοχής όσο και την συνδεσιμότητα από άκρη σε άκρη με το “σταθμό βάσης (Base Station - BS)” του σταθμού εντολών. Το LoRaUAV είναι ένα σύστημα UAV που βασίζεται σε LoRaWAN και σε “ασύρματη πιστότητα (Wireless Fidelity - WiFi)” το οποίο έχει σχεδιαστεί για την αντιμετώπιση αυτών των προβλημάτων.

Στο LoRaUAV, οι πυροσβέστες φέρουν ετικέτες LoRaWAN με δυνατότητα “παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (Global Positioning System - GPS)”, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση της θέσης τους, καθώς και για βιομετρικά δεδομένα. Μπορούν επίσης να αναπτύξουν τακτικούς αισθητήρες LoRaWAN, οι οποίοι ενδέχεται να εντοπίσουν πότε η φωτιά έχει φτάσει σε ορισμένες επιλεγμένες τοποθεσίες. Οι ετικέτες των πυροσβεστών και οι αισθητήρες του εδάφους θα αναφέρονται στο εξής “Επίγειοι Κόμβοι (Ground Nodes - GN)”.

Στο σύστημα LoRaUAV, ένα δίκτυο πλέγματος WiFi αυτόνομων πυλών UAV LoRaWAN αναπτύσσεται δυναμικά για να παρέχει κάλυψη LoRaWAN κατά τη διάρκεια των πυροσβεστικών επιχειρήσεων. Αυτό το πλέγμα ιπτάμενων πυλών LoRaWAN θα λάβει τα δεδομένα από τα GN και θα τα μεταδώσει μέσω WiFi στη θέση εντολών, όπου βρίσκεται ο διακομιστής δικτύου LoRaWAN. Δεδομένου ότι η τεχνολογία WiFi παρουσιάζει υψηλότερο ρυθμό δεδομένων, επιτρέπει τη συγκέντρωση της κίνησης που προέρχεται από μεγάλο αριθμό GN. Από την άλλη πλευρά, το μικρότερο εύρος του αντισταθμίζεται από το γεγονός ότι η επικοινωνία μεταξύ των UAV πραγματοποιείται στο LoS.

Δεδομένου ότι τα GN αναμένεται να κινούνται, το πλέγμα UAV πρέπει να προσαρμόσει τη θέση και την τοπολογία του σύμφωνα με τα πρότυπα κίνησης GN. Στο LoRaUAV, αυτό αντιμετωπίζεται από έναν αλγόριθμο ελέγχου τοπολογίας που βασίζεται σε Virtual Spring Forces (VSFs). Προκειμένου να επιλυθεί το πρόβλημα των αποσυνδέσεων λόγω διακοπής που προκαλείται από τη συνεχή μετακίνηση των GN και την προσωρινή προσαρμογή τοπολογίας UAV, προτείνεται επέκταση της “ανάκτησης και της συντήρησης της σύνδεσης (Connection Recovery and Maintenance - CRM)”. Προτείνεται επίσης μια επέκταση της “πρόβλεψης της κίνησης (Movement Prediction - MP)” προκειμένου να διευκολυνθεί η ανάκτηση απομονωμένων GN με βάση τον συνδυασμό MP και VSF.

Το LoRaUAV έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στο ns-3 και η απόδοσή του έχει αξιολογηθεί και συγκριθεί με μια υπάρχουσα πρόταση VSF από τους Di Felice et al. (2014). Η “Αναλογία Λήψης Πακέτων (Packet Reception Ratio - PRR)” και η καθυστέρηση από άκρο σε άκρο χρησιμοποιήθηκαν ως οι κύριες μετρήσεις απόδοσης. Από τα αποτελέσματα, μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι οι μηχανισμοί CRM και MP που εφαρμόζονται στο LoRaUAV συμβάλλουν αποτελεσματικά στη βελτίωση του PRR, με το μόνο μειονέκτημα μιας μεγαλύτερης καθυστέρησης

που επηρεάζει ένα μικρό ποσοστό πακέτων, το οποίο προκαλείται από καθυστερήσεις στην προσωρινή μνήμη και αποσυνδέσεις.

Οι κύριες συνεισφορές της μελέτης των Stellin et al. (2020) είναι αφενός να προτείνουν και να αξιολογήσουν συγκριτικά την απόδοση ενός συστήματος που παρέχει κάλυψη LoRaWAN σε επιχειρήσεις πυρόσβεσης σε άγρια περιοχή μέσω ενός πλέγματος WiFi από πύλες UAV. Αφετέρου, να εισαχθούν νέες επεκτάσεις CRM και MP στον έλεγχο τοπολογίας VSFs, οι οποίες φαίνεται να βελτιώνουν σημαντικά την απόδοση αυτού του είδους μηχανισμού και τέλος, να εισαχθεί ένα νέο μοντέλο κινητικότητας σεναρίων πυρκαγιάς σε άγρια περιοχή που εξετάστηκαν κατά την αξιολόγηση της απόδοσης.

Η δημιουργία ενός ασύρματου ad hoc δικτύου UAVs με ένα ρελέ συνοδεύεται από ένα σύνολο σημαντικών προβλημάτων όπως του πώς πρέπει να τοποθετηθούν με βέλτιστο τρόπο τα UAV σε ένα περιβάλλον 3D και πώς να σχεδιαστεί η κίνηση των UAV για να αποφευχθούν συγκρούσεις κατά την επίτευξη του στόχου. Ένα πρόβλημα που προκύπτει συχνά είναι αυτό της συνδεσιμότητας έναντι του προβλήματος κάλυψης. Σε ιδανική κατάσταση, το δίκτυο πλέγματος πρέπει να παρέχει τη μέγιστη δυνατή κάλυψη, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να διατηρεί τη συνδεσιμότητα μεταξύ των μελών του. Δυστυχώς, λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων (δηλαδή του αριθμού των UAV), συνήθως απαιτείται συμβιβασμός μεταξύ των δύο απαιτήσεων. Οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων προβλημάτων εμπίπτουν σε δύο κύριες κατηγορίες: τους κεντρικούς και τους καταναμημένους. Οι κεντρικοί αλγόριθμοι βασίζονται σε μία μόνο οντότητα που έχει πλήρη γνώση και έλεγχο των κόμβων οι οποίοι σχηματίζουν το δίκτυο. Αυτή η προσέγγιση συνήθως παράγει σχεδόν τα βέλτιστα αποτελέσματα όταν οι πληροφορίες τοποθεσίας είναι έγκαιρες και αξιόπιστες, αλλά πάσχει από το πρόβλημα της αποτυχίας καθώς εάν η διάσταση του προβλήματος είναι αρκετά μεγάλη, η διάδοση πληροφοριών τοποθεσίας και ο αριθμός των υπολογισμών μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές καθυστερήσεις. Συνήθως χρησιμοποιούνται μικτοί και ακέραιοι προγραμματισμοί, εξελικτικοί αλγόριθμοι ή πιθανά πεδία (Sabino et al., 2019; Almeida et al., 2018). Από την άλλη πλευρά, οι καταναμημένοι αλγόριθμοι παρέχουν λιγότερο βέλτιστες λύσεις, αλλά οι υπολογισμοί είναι συνήθως απλούστεροι, με βάση τις τοπικές πληροφορίες που κατανέμονται μεταξύ των κόμβων, καθιστώντας έτσι το δίκτυο πιο ευαίσθητο και ανθεκτικό σε περίπτωση απροσδόκητων αλλαγών. Οι περισσότεροι από τους υπάρχοντες καταναμημένους αλγόριθμους προσαρμόζουν έννοιες που προέρχονται από τη φυσική συμπεριφορά των ζώων.

Οι Basu et al. (2004) προτείνουν ένα σύστημα βασισμένο σε ομάδες, όπου τα UAV αυτο-οργανώνονται για να παρακολουθούν στρατιωτικές μονάδες που αναπτύσσονται και κινούνται στο έδαφος. Ο κύριος σκοπός είναι να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των καταναμημένων UAV σε σύγκριση με ένα πρόγραμμα κάλυψης πλήρους περιοχής. Προτείνεται ένα μηχανήμα με τέσσερα στάδια, το οποίο λειτουργεί ανεξάρτητα σε κάθε UAV, οδηγώντας σε μια αναδύομη ομαδική συμπεριφορά. Το συγκεκριμένο μηχανήμα καθορίζει πότε το UAV θα πρέπει να απωθείται ή να προσελκύεται από τους γείτονές του, ανάλογα με την απόσταση μεταξύ τους, πότε να πλησιάζει το κέντρο των κόμβων εδάφους εντός εμβέλειας ή πότε να “περπατήσει” τυχαία για να βρει θέσεις όπου καλύπτονται περισσότεροι κόμβοι εδάφους. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τα UAV μπορούν να ακολουθήσουν και να καλύψουν αποτελεσματικά τους κόμβους εδάφους όταν κινούνται, αν και η απόδοση είναι σαφώς καλύτερη όταν η κίνηση των κόμβων εδάφους είναι τοπική και πραγματοποιείται σε μια περιορισμένη περιοχή.

Οι Goddemeier et al. (2012) εξέτασαν μια προσέγγιση για τη διατήρηση ενός συνεκτικού δικτύου πλέγματος UAV με στόχο την εξερεύνηση μιας τρισδιάστατης περιοχής. Η ομάδα έχει επίσης την απαίτηση να διατηρείται η συνδεσιμότητα με έναν σταθμό που βασίζεται στο έδαφος. Τα σενάρια που μελετώνται από τους συγγραφείς είναι δύο: ένα στο οποίο η συνδεσιμότητα με το σταθμό βάσης είναι μόνιμη (Bounded Relaying) και ένα στο οποίο επιτρέπονται ορισμένες αποσυνδέσεις με σκοπό την επέκταση της εξερεύνησης (Release and Return). Κάθε UAV στο δίκτυο έχει τη δυνατότητα αυτοεπιλογής διαφορετικού ρόλου, ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου. Οι Scout Agents (SA) έχουν αναλάβει το έργο της εξερεύνησης και της ανίχνευσης, οι Relay Nodes (RN) διατηρούν την επικοινωνία μεταξύ ενός ή περισσοτέρων UAV και του σταθμού βάσης, τα Articulation Points (AP) συνδέουν δύο ομάδες που διαφορετικά θα ήταν κατακεραματισμένες και οι Returnees (R) είναι drone που, σε ένα σενάριο απελευθέρωσης και επιστροφής (Release and Return), επιστρέφουν για να ανακτήσουν τη συνδεσιμότητα αφού αποσυνδεθούν από το δίκτυο. Προκειμένου να διατηρηθεί η συνδεσιμότητα του πλέγματος, οι συγγραφείς προτείνουν έναν αλγόριθμο με γνώμονα την επικοινωνία που βασίζεται σε εικονικά δυναμικά πεδία που ονομάζονται Communication Aware Potential Fields (CAPF).

Οι Reynaud και Guérin-Lassous (2016) προτείνουν ένα σχήμα εικονικής δύναμης σε ένα σενάριο ανίχνευσης και τοποθεσίας του vespa velutina. Καθώς τα UAV αναζήτησης απομακρύνονται από τον κόμβο ελέγχου για να ακολουθούν τα vespa velutina, τα ρελέ UAV σχηματίζουν μια αλυσίδα επικοινωνίας που παρέχει μια συνδεσιμότητα πολλαπλών συνδέσεων σε κόμβους αναζήτησης. Σε μια αλυσίδα επικοινωνίας, οι αποστάσεις μεταξύ των δύο γειτόνων καθορίζουν εάν η δύναμη μεταξύ τους είναι ελκυστική, τριβή ή απωθητική, προκειμένου η αλυσίδα να διατηρηθεί συνδεδεμένη. Πρότειναν, επίσης, την ανάπτυξη αυτού του σχήματος για την κάλυψη της περιοχής σε ζώνες όπου η υποδομή του δικτύου είναι κατεστραμμένη ή ανύπαρκτη (Reynaud & Guérin-Lassous, 2018). Η έννοια της αλυσίδας επικοινωνίας εφαρμόζεται μεταξύ μιας πηγής και ενός προορισμού δεδομένων. Εκτός από τις ήδη αναφερθείσες δυνάμεις, τα ρελέ UAV υπόκεινται σε δυνάμεις ευθυγράμμισης, οι οποίες επιδιώκουν να ισιώσουν τις αλυσίδες επικοινωνίας, καθιστώντας τις όσο το δυνατόν πιο ταυτόχρονες με το τμήμα γραμμής που συνδέει την πηγή και τους κόμβους προορισμού. Αυτό θα κάνει την αλυσίδα πιο αποτελεσματική ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των κόμβων. Σύμφωνα με το προτεινόμενο σχήμα, τα UAV που δεν ανήκουν σε μια αλυσίδα γίνονται UAV έρευνας τα οποία κινούνται τυχαία για τον εντοπισμό πιθανών κόμβων πηγής και προορισμού.

Ο στόχος του LoRaUAV είναι να παρέχει κάλυψη σε κινητά GNs χρησιμοποιώντας μια ομάδα UAV, σκοπός των οποίων είναι να μεταδώσει τα συλλεγόμενα δεδομένα σε ένα BS μέσω ενός ad hoc δικτύου που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των μελών του. Κάθε UAV πρέπει να μπορεί να προσαρμόζει τη θέση του ώστε να αντικατοπτρίζει την μεταβαλλόμενη τοπολογία των GN και, ταυτόχρονα, να διατηρεί τη συνδεσιμότητα με το BS. Οι αποσυνδέσεις, αν και είναι δύσκολο να αποφευχθούν, πρέπει να ελαχιστοποιηθούν και πρέπει να ληφθούν μέτρα αποκατάστασης για την ανάκτηση της συνδεσιμότητας. Το LoRaUAV παρέχει μηχανισμούς για την αντιμετώπιση όλων αυτών των προβλημάτων.

Μερικές υποθέσεις που γίνονται είναι ότι όλα τα UAV είτε πετούν στο ίδιο υψόμετρο σε ένα 2D επίπεδο είτε μπορούν να κινούνται με σταθερή ταχύτητα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση είτε ανταλλάσσουν περιοδικά τη θέση τους και τον κατάλογο των καλυμμένων GN με τους γειτονές τους. Άλλες υποθέσεις αποτελούν το γεγονός ότι τα UAV έχουν πρόσβαση στη λαμβανόμενη ισχύ των γειτονικών UAV και GN ή μπορούν να το εκτιμήσουν με βάση τη θέση τους καθώς και το γεγονός ότι η θέση του BS είναι γνωστή από όλα τα UAV. Ο ελάχιστος ρυθμός δεδομένων (και ως

εκ τούτου το μέγιστο SF) αποδεκτός για κάθε σύνδεσμο LoRaWAN είναι μια παράμετρος διαμόρφωσης.

Η αρχιτεκτονική του LoRaUAV αποτελείται από ένα σύστημα δύο επιπέδων. Το πρώτο επίπεδο αποτελείται από GN που μεταδίδουν δεδομένα χρησιμοποιώντας το LoRaWAN, ενώ το δεύτερο επίπεδο αποτελείται από μια ομάδα drones αναμετάδοσης που επικοινωνούν μέσω ενός δικτύου WiFi. Το LoRaUAV αποτελείται από τρεις οντότητες: GN, UAV και BS. Τα GN είναι εξοπλισμένα με συσκευές που συγκεντρώνουν δεδομένα που προέρχονται από διάφορους αισθητήρες και τα μεταδίδουν χρησιμοποιώντας μια μονάδα LoRaWAN. Τα UAV πρέπει να είναι εξοπλισμένα με όλους τους απαραίτητους αισθητήρες, χειριστήρια και λογισμικό για πλοήγηση και σταθεροποίηση, όπως μετρητές ταχύτητας και επιταχυνσιόμετρα. Υποθέτουμε ότι τα drones διαθέτουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία και ένα API λογισμικού για να αλληλεπιδράσουν μαζί τους. Τα UAV φέρουν μια μονάδα που ενσωματώνει ένα τσιπ LoRaWAN Gateway (GW) και ένα τσιπ WiFi που υποστηρίζει ειδικές επικοινωνίες. Η παράδοση πακέτου από άκρο σε άκρο μέσω WiFi πραγματοποιείται χάρη σε μια παραδοσιακή στοίβα TCP / IP, με τη βοήθεια ενός προληπτικού πρωτοκόλλου δρομολόγησης MANET. Το πιο σημαντικό μέρος του συστήματος είναι ο αλγόριθμος κατανεμημένης κινητικότητας VSF, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προγραμματισμό των κινήσεων του drone σύμφωνα με τις εικονικές spring forces βάσει παραμέτρων που συλλέγονται από το GPS, τους πίνακες δρομολόγησης και τα μηνύματα που ανταλλάσσονται με GN και άλλα UAV. Επομένως, ο αλγόριθμος πρέπει να συνδεθεί με σχεδόν όλα τα συστήματα UAV. Το BS περιέχει τον ίδιο εξοπλισμό WiFi με ένα UAV, τρέχει το ίδιο πρωτόκολλο δρομολόγησης MANET και ενσωματώνει έναν LoRaWAN Network Server (NS) για τη διαχείριση του δικτύου. Άλλες οντότητες LoRaWAN, όπως οι “διακομιστές εφαρμογών (Application Servers - AS)” και η “εγγραφή διακομιστή (Join Server - JS)”, μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε υπό την προϋπόθεση ότι διατίθεται μια μορφή σύνδεσης δικτύου, όπως για παράδειγμα δορυφορική ή επίγεια σύνδεση.

4.3 Ανίχνευση Δασικής Πυρκαγιάς με χρήση Τοπολογίας LoRa Wireless Mesh

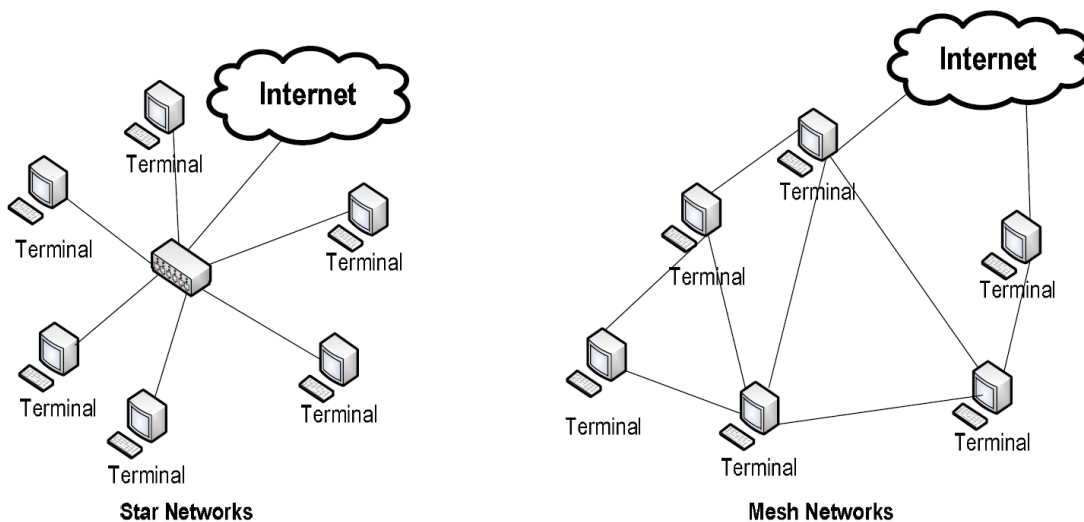
Τα δάση διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στο οικοσύστημα της γης αποτελώντας ένα αναπόσπαστο μέρος της λειτουργίας του ίδιου του δάσους, ως παραγωγοί οξυγόνου στην ανθρωπότητα. Το πρόβλημα είναι ότι όταν το δάσος καίγεται, η ζημιά που προκαλείται στον άνθρωπο είναι τεράστια, με σημαντικές επιπτώσεις όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και η καταστροφή των φυσικών οικοσυστημάτων στο ίδιο το δάσος, ο θάνατος των ζώων και η απώλεια της κατοικίας των ζωντανών ζώων (Zhu, 2012; Patil et al., 2016). Ένα άλλο πρόβλημα που προκύπτει σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς είναι η έλλειψη ενημέρωσης σχετικά με τη δασική πυρκαγιά με αποτέλεσμα οι αρχές να επιβραδύνουν τον χειρισμό της πυρκαγιάς. Ως εκ τούτου, διεξάγεται μια μελέτη που αποσκοπεί στον εντοπισμό των πυρκαγιών και στην ενημέρωση των αρχών σε περίπτωση πυρκαγιάς.

Ένα άλλο πρόβλημα προκύπτει σε περίπτωση που δεν υπάρχει πάροχος υπηρεσιών δικτύου για την αποστολή πληροφοριών σχετικά με την πυρκαγιά γύρω από το δάσος (Chandrasekharan et al., 2015). Η λύση είναι να σχεδιαστεί δημόσιο δίκτυο, έτσι ώστε σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς να υπάρχει μια συσκευή που μπορεί να στείλει δεδομένα μέσω του δάσους. Σύμφωνα με το εύρος των πιθανών δικτύων επικοινωνίας δεδομένων, δύο πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, σε αυτά της μικρής απόστασης και σε αυτά της μεγάλης απόστασης. Τα Wi-Fi, ZigBee και Bluetooth αντιπροσωπεύουν το δίκτυο επικοινωνιών μικρής απόστασης όντας κατάλληλα για εσωτερικά περιβάλλοντα. Από την άλλη πλευρά, για μεγάλες

αποστάσεις, διάφορα ασύρματα δίκτυα μπορούν να είναι η τεχνολογία LoRa (Ke et al., 2017). Χρησιμοποιώντας το ασύρματο δίκτυο LoRa, η εμβέλεια επικοινωνίας δεδομένων είναι κοντά στα 15 χλμ στο έδαφος (Liu et al., 2017).

Το σύστημα που εφαρμόζεται τοποθετεί πολλούς κόμβους στο δάσος όπου κάθε κόμβος είναι εξοπλισμένος τόσο με έναν αισθητήρα DHT 11 ως αναγνώστη του αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας όσο και με έναν αισθητήρα MQ2 ως ανιχνευτή καπνού (Pham, 2016).

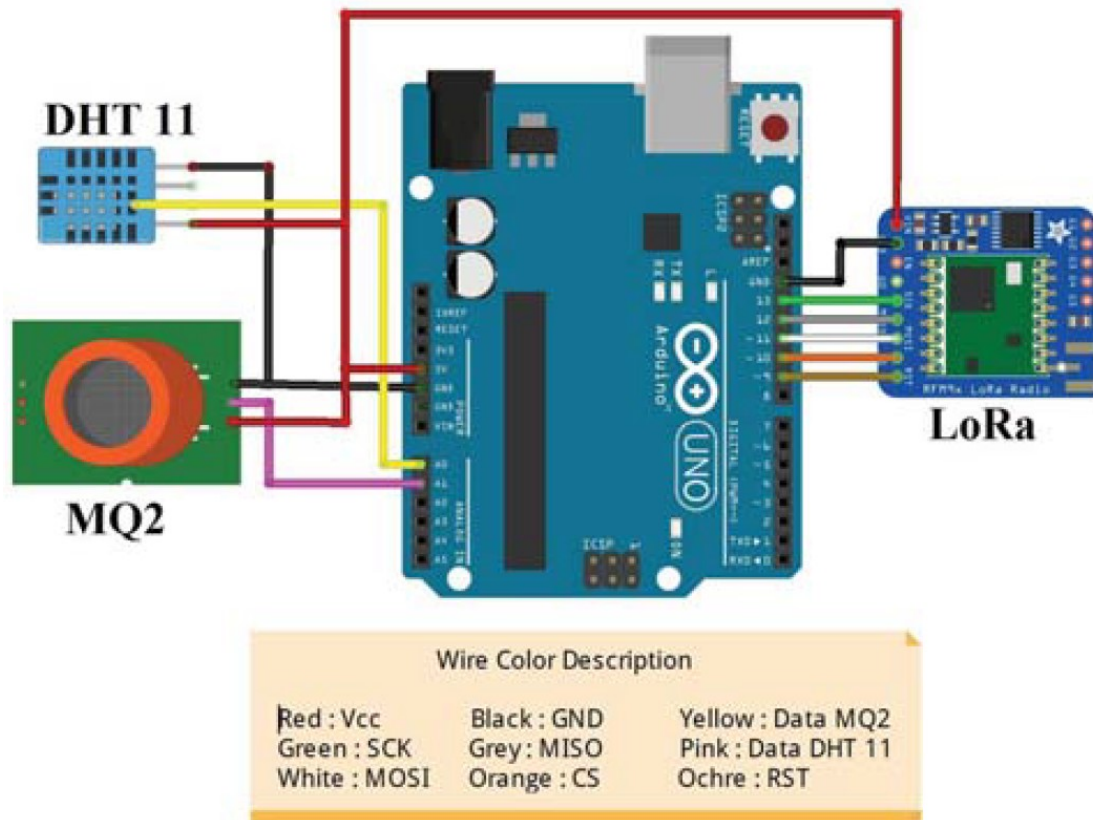
Ένα “ασύρματο δίκτυο πλέγματος (wireless mesh network - WMN)” είναι ένα δίκτυο επικοινωνιών που αποτελείται από ραδιο κόμβους οργανωμένους σε τοπολογία πλέγματος αντί για τοπολογία αστέρα που χρησιμοποιείται στα περισσότερα από τα δίκτυα (Adelantado et al., 2017). Η κύρια διαφορά μεταξύ των WMN και των δικτύων αστέρα είναι ότι αφενός τα WMN αποτελούν ασύρματα δίκτυα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα δυναμικής αυτο-οργάνωσης και αυτο-διαμόρφωσης, και αφετέρου ότι η σύνδεση πλέγματος δημιουργείται αυτόματα μεταξύ των κόμβων στο δίκτυο. Από την άλλη, το συμβατικό δίκτυο αστέρα έχει τοπολογία αστέρα που σημαίνει ότι όλοι οι τερματικοί κόμβοι συνδέονται με ένα μόνο κεντρικό σημείο το οποίο συνδέεται με το ανώτερο επίπεδο του δικτύου. Η (Εικόνα 4.1) απεικονίζει την τοπολογία των δύο δικτύων.



Εικόνα 4.1: Δίκτυα αστέρα και δίκτυα πλέγματος.

Στην έρευνα τους οι Salam et al. (2018), χρησιμοποίησαν το Arduino Uno για κόμβους αισθητήρων. Το Arduino Uno είναι ένας συνδεδεμένος αισθητήρας θερμοκρασίας DHT11, αισθητήρας καπνού MQ2 και Lora shield 915 MHz. Ο αισθητήρας MQ2 πρόκειται να ανιχνεύσει την παρουσία καπνού στην γύρω περιοχή, ενώ το Dragino Lora Shield πρόκειται να δημοσιεύσει τα αποκτηθέντα δεδομένα. Στην (Εικόνα 4.1) απεικονίζεται η διαμόρφωση για κάθε κόμβο του αισθητήρα.

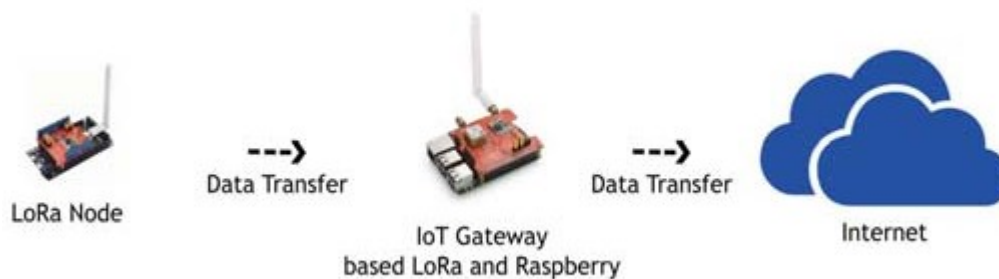
Για την πύλη χαμηλού κόστους, έγινε χρήση του Raspberry Pi και του Dragino Lora GPS Hat v1.4. και έγινε εγκατάσταση του Raspbian Stretch ως λειτουργικού συστήματος και LowCostLoRaGw. Λόγω του προβλήματος ασυμβατότητας του πιν CS Lora GPS Hat, η συνάρτηση raspberryPinNumber τροποποιήθηκε έτσι ώστε η συνάρτηση να επιστρέφει μια τιμή 25. Οι τιμές αντιστοιχούν σωστά στο GPIO6.



Εικόνα 4.2: Ο κόμβος που χρησιμοποιεί LoRa και Arduino

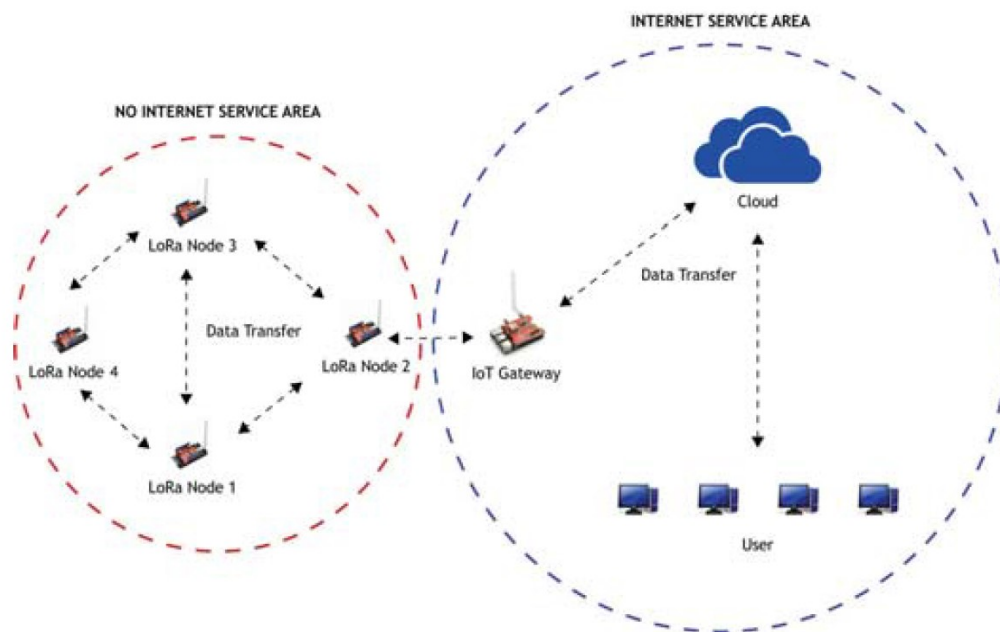
Επειδή στη δασική περιοχή, γενικά, δεν υπάρχει διαθέσιμη σύνδεση στο διαδίκτυο, είναι δύσκολο να υπάρξει ενημέρωση σε περίπτωση πυρκαγιάς. Υπάρχει ανάγκη, λοιπόν, για ένα καθορισμένο δίκτυο το οποίο μπορεί να στέλνει δεδομένα από ένα δάσος. Γενικά, όπως φαίνεται στην (Εικόνα 4.3), το μοτίβο επικοινωνίας γίνεται από τον κόμβο προς την πύλη και από την πύλη τα δεδομένα του αισθητήρα αποστέλλονται σε μια υπηρεσία cloud που μπορεί αργότερα να υποβληθεί σε επεξεργασία και να παρακολουθείται.

Στο πείραμα τους οι Salam et al. (2018), τοποθέτησαν 4 κόμβους σε 4 διαφορετικά σημεία του δάσους και υπέθεσαν ότι δεν υπάρχει διαθέσιμη υπηρεσία διαδικτύου γύρω από τα δάση, παρά μόνο σε μια άκρη του δάσους.



Εικόνα 4.3: Αρχιτεκτονική του LoRa Network από το περιβάλλον στο Ίντερνετ.

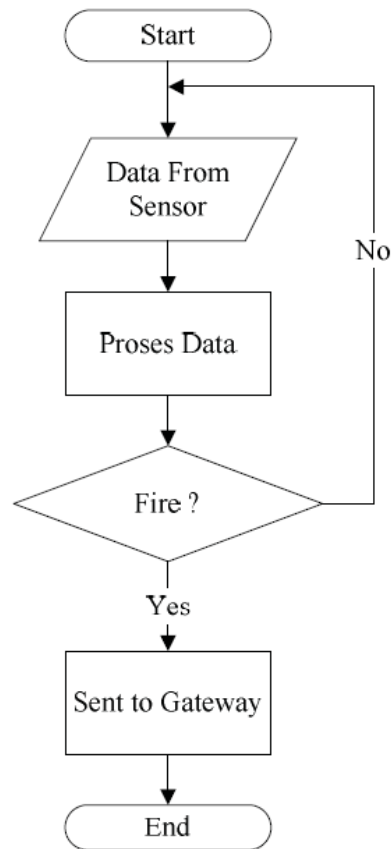
Η (Εικόνα 4.4) δείχνει ότι οι συσκευές LoRa είναι διατεταγμένες σε δύο μέρη του συστήματος. Τα πρώτα μέρη είναι στην περιοχή που δεν υπάρχουν υπηρεσίες διαδικτύου και περιλαμβάνουν κόμβους που σχηματίζουν ένα δίκτυο πλέγματος, ενώ μια άλλη συσκευή LoRa βρίσκεται στην περιοχή που παρέχονται υπηρεσίες διαδικτύου και η οποία προωθεί δεδομένα από κόμβους του cloud. Για παράδειγμα, αν ο κόμβος 4 (LoRa Node 4) ανιχνεύσει πυρκαγιά, δεν μπορεί να στείλει απευθείας δεδομένα στην πύλη λόγω της πυρκαγιάς και της πολύ μεγάλης απόστασης. Αντ' αυτού, ο κόμβος 4 (LoRa Node 4) στέλνει στον πλησιέστερο κόμβο πρώτα που είναι ο κόμβος 3 (LoRa Node 3) και έπειτα ο κόμβος 3 (LoRa Node 3) στέλνει στον κόμβο 2 (LoRa Node 2), ενώ στη συνέχεια τα δεδομένα προωθούνται στην πύλη. Τέλος, η πύλη προωθεί τον συναγερμό πυρκαγιάς στην υπηρεσία cloud.



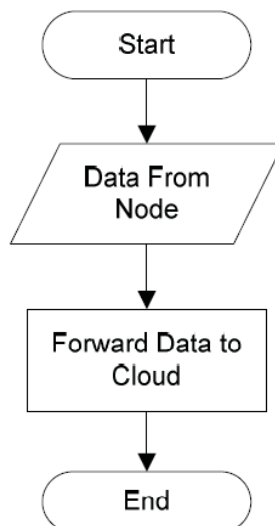
Εικόνα 4.4: Σενάριο για το συνολικό σύστημα

Από τον κόμβο LoRa, οι αποκτήσεις δεδομένων για τη θερμοκρασία και την υγρασία χρησιμοποιούν έναν αισθητήρα DHT 11, ενώ η ανίχνευση καπνού γίνεται με χρήση του αισθητήρα MQ2. Ο κόμβος αισθητήρα στέλνει περιοδικά τα δεδομένα μέσω της σύνδεσης LoRa στο cloud και σύμφωνα με τα δεδομένα που λαμβάνονται μια εφαρμογή λογισμικού στο cloud μπορεί να ανιχνεύσει πυρκαγιά στο δάσος. Ακολουθούν οι προκαθορισμένες τιμές θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης σωματιδίων καπνού ως βάση της ανίχνευσης πυρκαγιάς στα δάση.

Η θερμοκρασία είναι έως 40 Βαθμούς Κελσίου και τα δεδομένα υγρασίας φτάνουν το όριο του 50% ενώ τα δεδομένα σωματιδίων καπνού έφτασαν περίπου στα 2,368 ppm. Αυτό σημαίνει ότι το συγκεκριμένο σύστημα μπορεί να αντιληφθεί πυρκαγιά στο δάσος όταν γίνεται αντιληπτή η προκαθορισμένη τιμή του αισθητήρα. Επιπλέον, η θέση του αισθητήρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό της δασικής πυρκαγιάς. Το (Σχήμα 4.1) παρουσιάζει ένα διάγραμμα ροής της ανίχνευσης της πυρκαγιάς και της μετάδοσης των δεδομένων ενώ το (Σχήμα 4.2) δείχνει ένα διάγραμμα ροής δεδομένων προώθησης από τον κόμβο του αισθητήρα στο διαδίκτυο.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταφοράς δεδομένων από τον κόμβο του αισθητήρα



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα προώθησης δεδομένων στην πύλη

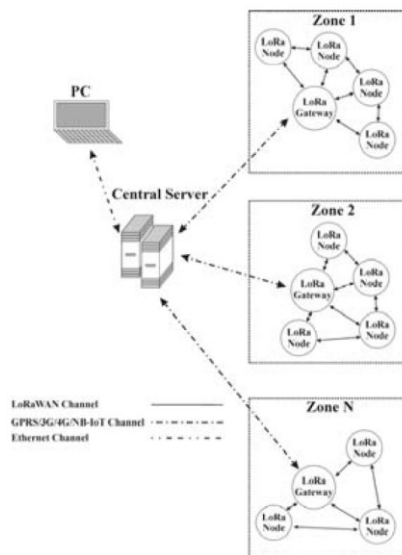
Τα συμπεράσματα είναι τα εξής. Αρχικά, μέσα στο δάσος είναι δυνατόν να σταλούν δεδομένα μόνο χρησιμοποιώντας τη μονάδα LoRa στη μεγαλύτερη απόσταση των 500 μέτρων. Τα αποτελέσματα αυτά θα ήταν διαφορετικά αν γινόταν χρήση της τη μονάδας LoRa σε ανοιχτό χώρο. Δεύτερον, το αποδεκτό όριο του επιπέδου RSSI για την αποστολή δεδομένων εντός του δάσους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από -136 dBm. Εάν το επίπεδο RSSI ήταν μικρότερο από -136 dBm,

τότε τα δεδομένα θα χάνονταν εν μέρει ή εντελώς. Τέλος, η καλύτερη λειτουργία ρύθμισης LoRa μέσα στο δάσος είναι BW 250 CR 4/5 SF 10 Tx Power 14., με την οποία ο σχεδιασμός μπορεί να καλύψει 10 εκτάρια δάσους, ενώ χρειάζονται μόνο 4 μονάδες LoRa και για μια μεγαλύτερη περιοχή χρειάζεται μόνο να αυξηθεί ο αριθμός των μονάδων LoRa. Για να αποφευχθούν συγκρούσεις δεδομένων σε δίκτυο πλέγματος με 4 κόμβους, προτείνεται ένα διάστημα μετάδοσης μεγαλύτερο από 20200 ms.

4.4 Σύστημα Προειδοποίησης και Παρακολούθησης Πυρκαγιών με Χρήση LoRa

Στην (Εικόνα 4.5) παρουσιάζεται το δομικό διάγραμμα ολόκληρου του συστήματος παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης. Το σύστημα αποτελείται από 4 στοιχεία: τα κύρια κελιά μέτρησης (Node LoRa), την τοπική επικοινωνία HUBs (LoRa Gateway), τον κεντρικό διακομιστή και έναν προσωπικό υπολογιστή για σύνδεση με τον υπολογιστή διακομιστή.

Το πρότυπο LoRa καθορίζει τη χρήση της ζώνης ISM εντός του εύρους SUB-G με τον αντίστοιχο περιορισμό όσον αφορά την εκπεμπόμενη ισχύ ενώ σύμφωνα με τις οδηγίες και τους κανονισμούς ETSI / EU, ο πομπός δεν πρέπει να εκπέμπει περισσότερα από 25mW. Στο προτεινόμενο σύστημα χρησιμοποιείται το LoRaWAN Modem Module CMWX1ZZABZ, κατασκευασμένο από την Murata. Είναι κατασκευασμένο γύρω από το STM32L082 MCU και το μπλοκ ραδιοφώνου, βάσει του Semtech SX1276 synthesizer συχνότητας, χάρη στο οποίο μπορεί να καλύψει τις επιτρεπόμενες ζώνες συχνοτήτων στην Ευρώπη, τις ΗΠΑ και τον Καναδά: 863-876 MHz και 915-921 MHz. Κάθε κύριο κελί μέτρησης ορίζεται ως LoRa Node και κάθε τοπικό HUB επικοινωνίας ορίζεται ως LoRa Gateway. Η παρατηρούμενη περιοχή χωρίζεται σε πολλαπλές ζώνες, εντός των ορίων της κάθε μιας τοποθετούνται συνολικά n σημεία εισόδου δεδομένων (LoRa Nodes και ένα τοπικό HUB) LoRa Gateway.



Εικόνα 4.5: Δομικό διάγραμμα του προτεινόμενου συστήματος

Κατά τη διάρκεια της επιχειρησιακής ροής του συστήματος, κάθε κόμβος συλλέγει δεδομένα για τις διάφορες παραμέτρους μέσω του ενσωματωμένου αισθητηριακού μπλοκ. Το αισθητηριακό μπλοκ κάθε κυψέλης θα αποτελείται από 5 αισθητήρες που θα μετρήσουν το ποσοστό υγρασίας στη γύρω περιοχή (αισθητήρας υγρασίας), τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου (αισθητήρας θερμοκρασίας), τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα σε ppm (αισθητήρας CO₂), τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή σε ppm (αισθητήρας CO) και τη

συγκέντρωση φορμαλδεΐδης σε ppm (αισθητήρας φορμαλδεΐδης). Τα αισθητηριακά δεδομένα θα διαβαστούν από την ενσωματωμένη CPU. Κάθε κόμβος αποστέλλει μέσω διαμορφωμένων καναλιών επικοινωνίας πακέτα δεδομένων, που περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις πραγματοποιηθείσες μετρήσεις σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα. Εκτός από τα αισθητηριακά δεδομένα, αυτά τα πακέτα πληροφοριών θα περιλαμβάνουν επίσης τις συντεταγμένες GPS και τον πραγματικό χρόνο για το πότε πραγματοποιήθηκε η δειγματοληψία μέτρησης (χρονική σήμανση).

Από την πλευρά του, κάθε Gateway συλλέγει τα δεδομένα από τη ζώνη που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση με τους κόμβους και τα προωθεί στον κεντρικό διακομιστή μέσω του καναλιού επικοινωνίας GPRS / 3G / 4G ή NB-IoT. Κάθε τοπικό HUB αποστέλλει επίσης πρόσθετες πληροφορίες, που λαμβάνονται από τα ενσωματωμένα συστήματα μέτρησης. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία LoRa δημιουργείται ένα δίκτυο πολλαπλών κόμβων ενώ η χρήση νέων τεχνολογιών για την Ενεργειακή Συγκομιδή δημιουργεί τη δυνατότητα κατασκευής ενός ασύρματου συστήματος με εξαιρετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, επιτρέποντας την πολυετή αξιοποίηση χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης για την υποστήριξή του. Τα πειραματικά δεδομένα δείχνουν ότι με τη χρήση μιας μονάδας Modem LoRaWAN καθιστά εφικτή τη δημιουργία ενός δικτύου με μέγιστη κάλυψη μεμονωμένων κυψελών 15 km σε προαστιακές περιοχές και 5 km σε αστικές περιοχές (Rizanof et al., 2017).

Κάθε κόμβος LoRa χρησιμοποιεί μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία. Πριν από την αρχική εισαγωγή του στην αξιοποίηση, η εσωτερική μπαταρία του κελιού μέτρησης γίνεται μέσω του μπλοκ φόρτισης της μπαταρίας από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας DC, η οποία είναι συνδεδεμένη στη θύρα φόρτισης DC. Κατά τη λειτουργία της, η μπαταρία φορτίζεται από το φωτοβολταϊκό στοιχείο Συγκομιδής Ενέργειας, ενώ με αυτόν τον τρόπο ο κύκλος ζωής της συσκευής παρατείνεται.

Οι πύλες LoRa διαθέτουν ενσωματωμένη μπαταρία, μπλοκ φόρτισης της μπαταρίας, θύρα φόρτισης DC για σύνδεση της εξωτερικής πηγής ισχύος DC, ρυθμιζόμενο μπλοκ τροφοδοσίας, CPU χαμηλής ισχύος, EEPROM, ρολόι πραγματικού χρόνου, LoRa μονάδα πομπού και μονάδα GPS. Κάθε HUB διαθέτει ενσωματωμένη μονάδα GSM, η οποία επικοινωνεί με την CPU και δημιουργεί τη σύνδεση με τον Κεντρικό Διακομιστή μέσω του καναλιού GPRS / 3G / 4G ή NB-IoT. Προαιρετικά, θα μπορούσαν να προστεθούν μια θερμική κάμερα, ένας αισθητήρας σωματιδίων και ένας αισθητήρας ανέμου. Η κάμερα θα τραβήξει εικόνες μιας συγκεκριμένης περιοχής και τα δεδομένα από αυτήν και από τους δύο επιπλέον αισθητήρες θα σταλούν μέσω του καναλιού 3G / 4G.

Μία από τις βασικές απαιτήσεις για τα κελιά μέτρησης είναι η αξιολόγηση του τρέχοντος μετεωρολογικού παράγοντα ως προϋπόθεση για την πιθανή εμφάνιση μιας πυρκαγιάς σύμφωνα με τα συλλεγόμενα αισθητηριακά δεδομένα, δηλαδή ο “Δείκτης Καιρού Πυρκαγιάς (Fire Weather Index - FWI)”. Ο στόχος του συστήματος είναι να λάβει υπόψη την πραγματική μετεωρολογική επίδραση στο διαθέσιμο καύσιμο, καθώς και να αξιολογήσει την πιθανότητα να προκύψει μια νέα δασική πυρκαγιά.

Οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τον διακομιστή αποθηκεύονται τοπικά και παρέχονται για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Βάσει μιας συλλεγόμενης βάσης δεδομένων, που περιέχει τις ονομαστικές, τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του συνόλου των παραμέτρων μέτρησης, το σύστημα του υπολογιστή παρακολουθεί σε πραγματικό χρόνο για το αν υπάρχουν αποκλίσεις στις ενδείξεις. Εάν μία ή περισσότερες από τις τιμές δείκτη υπερβαίνουν τη μέγιστη αποδεκτή τιμή, ο Διακομιστής ειδοποιεί ότι υπάρχει μια πιθανότητα για την εμφάνιση πυρκαγιάς ή επισημαίνει την

εμφάνισή της σε μια συγκεκριμένη ζώνη κοντά σε ένα κελί μέτρησης και εμφανίζει τις συντεταγμένες GPS του Κόμβου.

Ένας διαχειριστής συστήματος μπορεί να συνδεθεί στον Κεντρικό Διακομιστή μέσω διασύνδεσης Ethernet μέσω υπολογιστή. Για την πρόβλεψη και τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης διάδοσης της δασικής πυρκαγιάς εφαρμόζεται μια μέθοδος συμπεριφορικής μοντελοποίησης. Όλα αυτά τα χρόνια έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα πυρκαγιάς που βασίζονται στην εμπειρία και στην φυσική έχουν αναπτυχθεί, όπως τα CAWFE, FIRETEC, WFDS και άλλα. Συστήματα μοντελοποίησης που βασίζονται στην προσομοίωση, όπως το E-FIS και το AEGIS, έχουν επίσης δημιουργηθεί και χρησιμοποιούνται.

Η ακρίβεια των παραμέτρων εισόδου στο μοντέλο προσομοίωσης, όπως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου, η περιεκτικότητα της υγρασίας στο διαθέσιμο καύσιμο, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, και η τοπογραφική περιγραφή και χαρτογράφηση, επηρεάζει τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Με σκοπό την ακριβέστερη μοντελοποίηση και πρόβλεψη της συμπεριφοράς, οι διαδικασίες διόρθωσης και οι αλγόριθμοι που βασίζονται στο λογισμικό θα μπορούσαν να επεξεργαστούν τα εισερχόμενα δεδομένα, τα οποία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με τις τιμές του συνόλου παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο και τα οποία προωθούνται από ένα δίκτυο τοπικών σημείων εισαγωγής δεδομένων.

Ανάλογα με τους καθορισμένους αλγόριθμους αντίδρασης κατά την ανίχνευση ενός πιθανού κινδύνου πυρκαγιάς, κατά τη διάρκεια της ανάλυσης δεδομένων ο διακομιστής εντοπίζει τη φωτιά, παρακολουθεί τον προβλεπόμενο ρυθμό εξάπλωσης, την κατεύθυνση και το μέτωπο και χρησιμοποιεί τα αισθητήρια δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για να διορθώσει το μοντέλο συμπεριφοράς. Οι ληφθείσες θερμικές εικόνες από τον διακομιστή αναλύονται περαιτέρω με εξειδικευμένους αλγόριθμους επεξεργασίας εικόνας. Χάρη στα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την επεξεργασία της θερμικής εικόνας και τις πληροφορίες του δείκτη που λαμβάνονται από τον αισθητήρα σωματιδίων και τον αισθητήρα ανέμου, το σύστημα είναι ικανό να κατασκευάσει ένα ακριβές και πραγματικό μοντέλο της πυρκαγιάς και τις παραμέτρους του.

Προτείνεται ένα αυτόνομο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και παρακολούθησης των δασικών πυρκαγιών με βάση την τεχνολογία LoRa, η οποία πραγματοποιεί μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο ενός συνόλου παραμέτρων και προωθεί τα δεδομένα σε έναν Κεντρικό Διακομιστή για περαιτέρω ανάλυση και διόρθωση των μοντέλων συμπεριφοράς που παράγονται από υπολογιστή. Η εργασία των Rizanov et al. (2019) αντικατοπτρίζει το πρώτο στάδιο της κατασκευής ενός συστήματος αξιολόγησης του κινδύνου της πυρκαγιάς με βάση τη ζώνη, το οποίο θα βοηθούσε επίσης το λογισμικό προσομοίωσης του μοντέλου συμπεριφοράς όπως το E-FIS και το AEGIS. Η χρήση ραδιοφωνικών μονάδων, οι οποίες λειτουργούν εντός της ζώνης ISM επιτρέπει τη μείωση των δαπανών, τη βελτιστοποίηση της σχέσης κόστους-αποτελεσματικότητας της συσκευής και τη μείωση του κόστους αξιοποίησης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της, η οποία αυξάνει τις ανταγωνιστικές της δυνατότητες.

4.5 Πιθανές βελτιώσεις της εφαρμογής

Η τωρινή εφαρμογή για την ενημέρωση των χρηστών είναι αρκετά πρωταρχική και χωρίς ιδιαίτερες λειτουργίες. Σε μελλοντική φάση θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας αλγόριθμος μηχανικής μάθησης έτσι ώστε να βοηθήσει στην αναγνώριση της βέλτιστης διαδρομής για τους ανθρώπους έτσι ώστε να μπορούν να βρουν μία ασφαλή διέξοδο από μια ενδεχόμενη πυρκαγιά. Μία ακόμα βελτιωτική κίνηση θα μπορούσε να είναι η πρόσθεση των συμβουλών που δίνει η

Κεφάλαιο 4

επίσημη ιστοσελίδα της Προστασίας του Πολίτη σε περίπτωση μεγάλου ενδεχόμενου φωτιάς έτσι ώστε οι χρήστες να έχουν μία σωστή και με την αιγίδα του Ελληνικού υπουργείου προστασία και πρόληψη. Τέλος μια ακόμα προσθήκη που θα μπορούσε να γίνει είναι να προστεθούν τηλέφωνα των τοπικών υπηρεσιών πυροσβεστικής έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν ανά πάσα στιγμή επικοινωνήσουν το πυροσβεστικό σώμα της περιοχής τους είτε για συμβουλές ή για ενημερώσετε για τυχόν φωτιά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

[1] Bleszity, J., & Zelenak, M. (1989). A tűzoltás taktikája.[Tactics of firefighting]. *Tankönyv [Training book for firefighters]*, BM Könyvkiadó [Publishing House], Disaster Management Training Center, Budapest, Hungary.[In Hungarian].

Πατέντες

[2] Abu-Mahfouz, A. M., Hamam, Y., Page, P. R., Djouani, K., & Kurien, A. (2016). Real-time dynamic hydraulic model for potable water loss reduction. *Procedia Eng*, 154(7), 99-106.

[3] Ahlers, D., Driscoll, P. A., Kraemer, F. A., Anthonisen, F. V., & Krogstie, J. (2016). A measurement-driven approach to understand urban greenhouse gas emissions in Nordic cities. NIK.

[4] GAITAN, N. C., & HOJBOTA, P. (2020). Forest Fire Detection System using LoRa Technology. *Forest*, 11(5).

[5] Hariyawan, M. Y., Gunawan, A., & Putra, E. H. (2013). Wireless sensor network for forest fire detection. *Telkomnika*, 11(3), 563.

Internet Sites

[6] Semtech Company (LoRA). [Interactive] 7 February 2020.[Online]. <https://www.semtech.com/lora/why-lora>.

[7] Technical Specs and Documentation of Arduino Leonardo.[Online]. https://www.arduino.cc/en/Main/Arduino_BoardLeonardo

[8] Technical Specs and Documentation of µNode 1.1v.[Online]. <https://www.tlab.gr/projects/%ce%bcnode-project/>

Papers in Conference Proceedings

[9] Abu-Mahfouz, A. M., Olwal, T. O., Kurien, A. M., Munda, J. L., & Djouani, K. (2015, September). Toward developing a distributed autonomous energy management system (DAEMS). In *AFRICON 2015* (pp. 1-6). IEEE.

[10] Bor, M. C., Roedig, U., Voigt, T., & Alonso, J. M. (2016, November). Do LoRa low-power wide-area networks scale?. In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems* (pp. 59-67).

[11] Dlodla, A. G., Abu-Mahfouz, A. M., Kruger, C. P., & Isaac, J. S. (2013, May). Wireless sensor networks testbed: ASNTbed. In *2013 IST-Africa Conference & Exhibition* (pp. 1-10). IEEE.

[12] Bankov, D., Khorov, E., & Lyakhov, A. (2016, November). On the limits of LoRaWAN channel access. In *2016 International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)* (pp. 10-14). IEEE.

- [13] Gregora, L., Vojtech, L., & Neruda, M. (2016, December). Indoor signal propagation of LoRa technology. In *2016 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME)* (pp. 1-4). IEEE.
- [14] Herutomo, A., Abdurohman, M., Suwastika, N. A., Prabowo, S., & Wijitomo, C. W. (2015, May). Forest fire detection system reliability test using wireless sensor network and OpenMTC communication platform. In *2015 3rd International conference on information and communication technology (ICoICT)* (pp. 87-91). IEEE.
- [15] Hristov, G., Raychev, J., Kinaneva, D., & Zahariev, P. (2018, September). Emerging methods for early detection of forest fires using unmanned aerial vehicles and lorawan sensor networks. In *2018 28th EAEEIE Annual Conference (EAEEIE)* (pp. 1-9). IEEE.
- [16] Jayaram, K., Janani, K., Jeyaguru, R., Kumaresh, R., & Muralidharan, N. (2019, March). Forest Fire Alerting System With GPS Co-ordinates Using IoT. In *2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS)* (pp. 488-491). IEEE.
- [17] Khutsoane, O., Isong, B., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017, October). IoT devices and applications based on LoRa/LoRaWAN. In *IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 6107-6112). IEEE.
- [18] Kim, D. H., Lim, J. Y., & Kim, J. D. (2016, September). Low-power, long-range, high-data transmission using Wi-Fi and LoRa. In *2016 6th International Conference on IT Convergence and Security (ICITCS)* (pp. 1-3). IEEE.
- [19] Kort, J., Poppy, L., Gordon, A., & Caron, L. (2009). Temperate agroforestry: when trees and crops get together. Proceedings of the 10th North American Agroforestry Conference, Quebec City, Canada, 10-13 July 2007. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(1/2), 1-117.
- [20] Kruger, C. P., Abu-Mahfouz, A. M., & Isaac, S. J. (2013, May). Modulo: A modular sensor network node optimised for research and product development. In *2013 IST-Africa Conference & Exhibition* (pp. 1-9). IEEE.
- [21] Leonardi, L., Battaglia, F., Patti, G., & Bello, L. L. (2018, October). Industrial LoRa: A novel medium access strategy for LoRa in industry 4.0 applications. In *IECON 2018-44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 4141-4146). IEEE.
- [22] Mudumbe, M. J., & Abu-Mahfouz, A. M. (2015, July). Smart water meter system for user-centric consumption measurement. In *2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 993-998). IEEE.
- [23] Neumann, P., Montavont, J., & Noël, T. (2016, October). Indoor deployment of low-power wide area networks (LPWAN): A LoRaWAN case study. In *2016 IEEE 12th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* (pp. 1-8). IEEE.
- [24] Petajajarvi, J., Mikhaylov, K., Roivainen, A., Hanninen, T., & Pettissalo, M. (2015, December). On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology. In *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)* (pp. 55-59). IEEE.
- [25] Petrić, T., Goessens, M., Nuaymi, L., Toutain, L., & Pelov, A. (2016, September). Measurements, performance and analysis of LoRa FABIAN, a real-world implementation of

- LPWAN. In *2016 IEEE 27th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)* (pp. 1-7). IEEE.
- [26] Polonelli, T., Brunelli, D., Girolami, A., Demmi, G. N., & Benini, L. (2019, June). A multi-protocol system for configurable data streaming on IoT healthcare devices. In *2019 IEEE 8th international workshop on advances in sensors and interfaces (IWASI)* (pp. 112-117). IEEE.
- [27] Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855-873.
- [28] Sendra, S., Romero-Díaz, P., Navarro-Ortiz, J., & Lloret, J. (2018, October). Smart infant incubator based on LoRa networks. In *2018 IEEE/ACS 15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)* (pp. 1-6). IEEE.
- [29] Tanumihardja, W. A., & Gunawan, E. (2015, August). On the application of IoT: Monitoring of troughs water level using WSN. In *2015 IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe)* (pp. 58-62). IEEE.
- [30] Toledo-Castro, J., Caballero-Gil, P., Rodríguez-Pérez, N., Santos-González, I., Hernández-Goya, C., & Aguasca-Colomo, R. (2018). Forest fire prevention, detection, and fighting based on fuzzy logic and wireless sensor networks. *Complexity*, 2018.
- [31] Vega-Rodríguez, R., Sendra, S., Lloret, J., Romero-Díaz, P., & Garcia-Navas, J. L. (2019, October). Low Cost LoRa based Network for Forest Fire Detection. In *2019 Sixth International Conference on Internet of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)* (pp. 177-184). IEEE.
- [32] Yang, F., Ramachandran, G. S., Lawrence, P., Michiels, S., Joosen, W., & Hughes, D. (2016, October). μ PnP-WAN: Wide area plug and play sensing and actuation with LoRa. In *2016 International SoC Design Conference (ISOCC)* (pp. 225-226). IEEE.
- [33] Yu, L., Wang, N., & Meng, X. (2005, September). Real-time forest fire detection with wireless sensor networks. In *Proceedings. 2005 International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005.* (Vol. 2, pp. 1214-1217). IEEE.
- [34] Rizanov, S., Stoyanova, A., & Todorov, D. (2019, September). System For Early Warning And Monitoring Of Wildfires. In *2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET)* (pp. 1-3). IEEE.
- [35] Ke, K. H., Liang, Q. W., Zeng, G. J., Lin, J. H., & Lee, H. C. (2017, April). A LoRa wireless mesh networking module for campus-scale monitoring: demo abstract. In *Proceedings of the 16th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks* (pp. 259-260).
- [36] Liu, Y., Tong, K. F., Qiu, X., Liu, Y., & Ding, X. (2017, May). Wireless mesh networks in IoT networks. In *2017 International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition* (pp. 183-185). IEEE.
- [37] Pham, C. (2016, June). Building low-cost gateways and devices for open LoRa IoT test-beds. In *International Conference on Testbeds and Research Infrastructures* (pp. 70-80). Springer, Cham.

- [38] Salam, A. E. U., Arifin, A., & Rizal, M. (2018, November). Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh Topology. In *2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)* (pp. 184-187). IEEE.
- [39] Zhu, Y., Xie, L., & Yuan, T. (2012, July). Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network. In *Proceedings of the 10th World Congress on Intelligent Control and Automation* (pp. 4245-4248). IEEE.
- [40] Basu, P., Redi, J., & Shurbanov, V. (2004, October). Coordinated flocking of UAVs for improved connectivity of mobile ground nodes. In *IEEE MILCOM 2004. Military Communications Conference, 2004.* (Vol. 3, pp. 1628-1634). IEEE.
- [41] Di Felice, M., Trotta, A., Bedogni, L., Chowdhury, K. R., & Bononi, L. (2014, September). Self-organizing aerial mesh networks for emergency communication. In *2014 IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communication (PIMRC)* (pp. 1631-1636). IEEE.
- [42] MOLNÁR, G. (1991). *Katasztrófák. Budapest: Szövetkezeti Szervezési Iroda.*

Journal Articles

- [43] Abu-Zreig, M., Rudra, R. P., Whiteley, H. R., Lalonde, M. N., & Kaushik, N. K. (2003). Phosphorus removal in vegetated filter strips. *Journal of environmental quality*, 32(2), 613-619.
- [44] Augustin, A., Yi, J., Clausen, T., & Townsley, W. M. (2016). A study of LoRa: Long range & low power networks for the internet of things. *Sensors*, 16(9), 1466.
- [45] Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.
- [46] Gould, J., Plucinski, M., McCARTHY, G., Hollis, J., Handmer, J., & Ganewatta, G. (2009). Effectiveness and efficiency of aerial firefighting in Australia. *Fire Note*, 50(11), 1-4.
- [47] Haile, S. G., Nair, V. D., & Nair, P. R. (2010). Contribution of trees to carbon storage in soils of silvopastoral systems in Florida, USA. *Global Change Biology*, 16(1), 427-438.
- [48] Howlett, D. S., Mosquera-Losada, M. R., Nair, P. R., Nair, V. D., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2011). Soil carbon storage in silvopastoral systems and a treeless pasture in northwestern Spain. *Journal of environmental quality*, 40(3), 825-832.
- [49] Isaac, M. E., & Kimaro, A. A. (2011). Diagnosis of nutrient imbalances with vector analysis in agroforestry systems. *Journal of environmental quality*, 40(3), 860-866.
- [50] Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry systems*, 76(1), 1-10.
- [51] Khan, Z., Lehtomaki, J. J., Iellamo, S. I., Vuotoniemi, R., Hossain, E., & Han, Z. (2017). IoT connectivity in radar bands: A shared access model based on spectrum measurements. *IEEE Communications Magazine*, 55(2), 88-96.
- [52] Kobo, H. I., Abu-Mahfouz, A. M., & Hancke, G. P. (2017). A survey on software-defined wireless sensor networks: Challenges and design requirements. *IEEE access*, 5, 1872-1899.

- [53] László, F., & Rajmund, K. (2016). Characteristics of forest fires and their impact on the environment. *AARMS–Academic and Applied Research in Military Science*, 15(1), 5-17.
- [54] López-Díaz, M. L., Rolo, V., & Moreno, G. (2011). Trees' role in nitrogen leaching after organic, mineral fertilization: a greenhouse experiment. *Journal of environmental quality*, 40(3), 853-859.
- [55] Moser, E. B., Saxton, A. M., & Pezeshki, S. R. (1990). Repeated measures analysis of variance: application to tree research. *Canadian Journal of Forest Research*, 20(5), 524-535.
- [56] Nair, P. R. (2011). Agroforestry systems and environmental quality: introduction. *Journal of environmental quality*, 40(3), 784-790.
- [57] Ndiaye, M., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2017). Software defined networking for improved wireless sensor network management: A survey. *Sensors*, 17(5), 1031.
- [58] Orfei, F., Mezzetti, C. B., & Cottone, F. (2016, October). Vibrations powered LoRa sensor: An electromechanical energy harvester working on a real bridge. In *2016 IEEE SENSORS* (pp. 1-3). IEEE.
- [59] Page, P. R., Abu-Mahfouz, A. M., & Mothetha, M. L. (2017). Pressure management of water distribution systems via the remote real-time control of variable speed pumps. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(8), 04017045.
- [60] Sarwar, B., Bajwa, I. S., Jamil, N., Ramzan, S., & Sarwar, N. (2019). An intelligent fire warning application using IoT and an adaptive neuro-fuzzy inference system. *Sensors*, 19(14), 3150.
- [61] Sogbedji, J. M., van Es, H. M., Yang, C. L., Geohring, L. D., & Magdoff, F. R. (2000). Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *Journal of Environmental Quality*, 29(6), 1813-1820.
- [62] Soliman, H., Sudan, K., & Mishra, A. (2010, November). A smart forest-fire early detection sensory system: Another approach of utilizing wireless sensor and neural networks. In *SENSORS, 2010 IEEE* (pp. 1900-1904). IEEE.
- [63] Szott, L. T., & Kass, D. C. L. (1993). Fertilizers in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 23(2-3), 157-176.
- [64] Udawatta, R. P., Garrett, H. E., & Kallenbach, R. (2011). Agroforestry buffers for nonpoint source pollution reductions from agricultural watersheds. *Journal of environmental quality*, 40(3), 800-806.
- [65] Want, R., Schilit, B. N., & Jenson, S. (2015). Enabling the internet of things. *Computer*, 48(1), 28-35.
- [66] Wixted, A. J., Kinnaird, P., Larijani, H., Tait, A., Ahmadinia, A., & Strachan, N. (2016, October). Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks. In *2016 IEEE SENSORS* (pp. 1-3). IEEE.
- [67] Yan, Q. L., Zhu, J. J., Hu, Z. B., & Sun, O. J. (2011). Environmental impacts of the shelter forests in Horqin Sandy Land, Northeast China. *Journal of environmental quality*, 40(3), 815-824.
- [68] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 1(1), 22-32.

- [69] Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications magazine*, 55(9), 34-40.
- [70] Chandrasekharan, R. Q. V. P., Ashiq, M. I., & Prakash, V. (2015). Forest Fire Detection Using Temperature Sensors Powered by Tree and Auto alarming Using Gsm. *Ijrsi 2 (3) 23-28*, 2(100817), 23-28.
- [71] Patil, L. R., Chopda, D., & Borse, M. (2016). Forest-Fires Monitoring System Using Wireless Technology. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO9001: 2008 Certified Journal, Volume 6, Issue 4*.
- [72] Goddemeier, N., Daniel, K., & Wietfeld, C. (2012). Role-based connectivity management with realistic air-to-ground channels for cooperative UAVs. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(5), 951-963.
- [73] Raza, U., Kulkarni, P., & Sooriyabandara, M. (2017). Low power wide area networks: An overview. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(2), 855-873.
- [74] Reynaud, L., & Guérin-Lassous, I. (2016). Design of a force-based controlled mobility on aerial vehicles for pest management. *Ad Hoc Networks*, 53, 41-52.
- [65] Reynaud, L., & Guérin-Lassous, I. (2018). Improving the performance of challenged networks with controlled mobility. *Mobile Networks and Applications*, 23(5), 1270-1279.
- [76] Sabino, S., Horta, N., & Grilo, A. (2018). Centralized unmanned aerial vehicle mesh network placement scheme: A multi-objective evolutionary algorithm approach. *Sensors*, 18(12), 4387.
- [77] Stellin, M., Sabino, S., & Grilo, A. (2020). LoRaWAN Networking in Mobile Scenarios Using a WiFi Mesh of UAV Gateways. *Electronics*, 9(4), 630.
- [78] Abu-Mahfouz, A. M., Hamam, Y., Page, P. R., Djouani, K., & Kurien, A. (2016). Real-time dynamic hydraulic model for potable water loss reduction. *Procedia Eng*, 154(7), 99-106.