

Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής, Υπολογιστών και Τηλεπικοινωνιών

---

Διπλωματική Εργασία

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ρομποτική

---

# Μετάδοση δεδομένων μέσω ασύρματου δικτύου LoRa

Καραβαδές Βασίλειος

Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος

Σέρρες, 19-2-2023

Εργασία που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών στη Ρομποτική, του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, για τη μερική εκπλήρωση υποχρεώσεων για το Δίπλωμα Ειδίκευσης στη Ρομποτική

Επιβλέπων Καθηγητής: Ιωάννης Καλόμοιρος

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	6
Abstract .....	7
1. Διατύπωση του προβλήματος της εργασίας.....	8
Εισαγωγή.....	8
1.1 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things) .....	9
1.2 Δίκτυα μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης (LPWAN) .....	10
1.3 Ανάπτυξη LPWAN.....	11
1.3 Εφαρμογές Low Power Wide Area Network (LPWAN).....	12
Κατάσταση της Τέχνης.....	14
2.1 Ασύρματη επικοινωνία συσκευών.....	14
2.2 ZigBee .....	14
2.2 Bluetooth.....	17
2.3 Wi-Fi (Wireless-Fidelit) .....	23
2.4 NB-Iot (Narrow Band IoT) .....	24
2.5 Sigfox .....	27
2.6 LoRa .....	30
2.7 Ιδιαίτερες εφαρμογές LoRa.....	31
2.71 Σύστημα παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT με τεχνολογία επικοινωνίας LoRa	31
2.72 Εφαρμογή Smart Bin με χρήση LoRa.....	34
2.8 Σύγκριση τεχνολογιών LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) .....	36
2.81 Ποιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης (QoS) .....	37
2.82 Εύρος δικτύου .....	37
2.83 Χρονολογία .....	37
2.84 Κόστος .....	38
2.85 Διάρκεια ζωής μπαταρίας & καθυστέρηση .....	38
2.86 Επεκτασιμότητα & μήκος ωφέλιμου φορτίου .....	38
3. LoRa (Long Range).....	39
3.1 Βασικά χαρακτηριστικά Lora .....	39
3.11 Ασύρματη επικοινωνία.....	39
3.12 Εμβέλεια .....	39
3.13 Συχνότητα .....	39
3.14 Διαμόρφωση .....	40

3.15 Χωρητικότητα .....	40
3.15 Ενεργεία.....	40
3.2 Διαμόρφωση σήματος. ....	41
3.3 Φυσικό επίπεδο και παράμετροι. ....	41
3.31 Εύρος Ζώνης (BW).....	42
3.32 Ρυθμός Κωδικοποίησης (CR) .....	42
3.33 Η Ισχύς Μετάδοσης (Tx Pow).....	42
3.34 Διασπορά (SF) .....	43
3.4 Πακέτο LoRa .....	44
3.5 Αποδιαμόρφωση σήματος LoRa.....	44
4 LoRaWAN.....	46
4.1 Αρχιτεκτονική δικτύου LoRaWAN .....	46
4.2 Κλάσεις συσκευών LoRaWAN.....	50
4.21 Κλάση A .....	50
4.22 Κλάση B.....	50
4.23 Κλάση C.....	51
5 Εφαρμογή LoRa .....	52
5.1 Εισαγωγή .....	52
5.2 Περιγραφή προβλήματος .....	52
5.3 Επιλογή Hardware .....	55
5.31 Κεντρική Συσκευή .....	55
5.32 Απομακρυσμένες συσκευές .....	59
5.4 Επιλογή Software.....	61
5.42 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE.....	61
5.42 Arduino IoT Cloud.....	62
5.5 Συνδεσμολογία Συσκευών.....	63
5.6 Ρύθμιση συχνότητας και παραμέτρων .....	64
5.7 Κώδικας Εφαρμογής .....	65
5.71 Κώδικας Κεντρικής Συσκευής .....	66
5.72 Κώδικας Απομακρυσμένης Συσκευής.....	69
5.8 Απεικόνιση συσκευών και αποτελεσμάτων .....	72
6 Συμπεράσματα .....	77
Βιβλιογραφία .....	80

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.....	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.....	87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.....	92

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Διπλωματικής Εργασίας και πως κάθε βοήθεια που είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στη Διπλωματική Εργασία, με κατάλληλη αναφορά. Επίσης, έχω αναφέρει τις πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, εικόνων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες και αναλαμβάνω πλήρως την ευθύνη για τη χρήση των πηγών. Τέλος, βεβαιώνω ότι αυτή η διπλωματική εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά για τις απαιτήσεις του Μεταπτυχιακού Προγράμματος στη Ρομποτική.

Καραβαδές Βασίλειος

## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάζονται τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στα δίκτυα επικοινωνίας που ανήκουν στη κατηγορία LPWAN. Γίνεται σύγκριση αυτών και υλοποιείται μια εφαρμογή η οποία αναδεικνύει τα προτερήματα της τεχνολογίας LoRa για τη μεταφορά αλλά και τη λήψη δεδομένων. Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε περιλαμβάνει δυο απομακρυσμένες συσκευές οι οποίες φέρουν πάνω τους αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αλλά και για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους. Τα δεδομένα αποστέλλονται με την βοήθεια της τεχνολογίας LoRa στην κεντρική μονάδα που επέχει θέση Gateway η όποια με την σειρά της μεταφέρει τα δεδομένα στο διαδίκτυο. Επίσης, στη κεντρική συσκευή υπάρχει και η δυνατότητα προβολής των δεδομένων. Τα δεδομένα με την βοήθεια του Arduino IoT Cloud είναι διαθέσιμα για προβολή μέσω κινητού, υπολογιστή και οποιασδήποτε άλλης smart συσκευής. Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η επικοινωνία είναι αμφίδρομη δηλαδή τόσο από την smart συσκευή όσο και από κεντρική μονάδα υπάρχει έλεγχος των απομακρυσμένων συσκευών.

## Abstract

In this thesis, the most popular wireless communication protocols are presented, with special emphasis on the communication networks belonging to the LPWAN category. A comparison is made and an application is implemented that highlights the advantages of LoRa technology for both data transmission and reception. The application includes two remote devices which carry sensors on them for measuring the temperature and also for measuring the soil moisture. The data are sent with the help of the Lora technology to the central unit which is located in a gateway, which in turn transmits the data to the internet. The central device also has the possibility of displaying the measurements. The data with the help of Arduino IoT Cloud is available for viewing via mobile, PC and any other smart device. It is very important that the communication is bidirectional i.e. both from the smart device and from the central unit there is control of the remote devices.

# 1. Διατύπωση του προβλήματος της εργασίας

## Εισαγωγή

Στις μέρες μας, καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, παρατηρείται όλο και πιο έντονη η ανάγκη για συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν στο δίκτυο τόσο για τη λήψη πληροφοριών από αυτές όσο και για τον απομακρυσμένο έλεγχο τους. Αυτές οι συσκευές βρίσκουν εφαρμογή σε τομείς όπως η υγεία, η κτηνοτροφία, η γεωργία αλλά και σε άλλες οικιακές εφαρμογές. Έτσι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας. Το σύνολο των κανόνων στο IoT με το οποίο μπορεί να επιτευχθεί η ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε ηλεκτρικές συσκευές αποτελεί πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Αρχικός σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι να συγκρίνει τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας, καθώς και να παρουσιάσει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Ακόμη, θα γίνει αναφορά στο είδος και τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή το καθένα από αυτά. Τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα επικοινωνίας που έχουν εξελιχθεί και χρησιμοποιούνται από ένα μεγάλο μέρος της επιστημονικής κοινότητας αλλά και από απλούς πολίτες είναι το Bluetooth, το Wi-Fi, το ZigBee, το LoRa, και το NB-IoT. Το πρόβλημα που δημιουργείται όμως πολύ συχνά είναι ότι αυτές οι συσκευές μέτρησης χρειάζεται να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον δέκτη. Επίσης πολλές φορές δημιουργείται η ανάγκη αυτά τα συστήματα να τροφοδοτούνται από κάποια μπαταρία γιατί δεν υπάρχει δίκτυο για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Κύριος στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να μελετηθεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας LoRa. Το LoRa (Long Range) ένα πρωτόκολλο για δίκτυα ευρείας έκτασης και χαμηλής ισχύος (Low Power Wide Area Networks ή LPWAN), που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη δικτύων αισθητήρων στο Διαδίκτυο των Αντικειμένων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία το χρησιμοποιούμε στα πλαίσια της εφαρμογής που υλοποιήθηκε για την αποστολή και λήψη δεδομένων από και προς τα απομακρυσμένα σημεία.



## 1.1 Το Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet Of Things)

Το διαδίκτυο των πραγμάτων IoT είναι μια ενσωμάτωση μεγάλης ποικιλίας έξυπνων συσκευών, αισθητήρων και αντικειμένων που έχουν τη δυνατότητα να συνδεθούν σε παγκόσμιο ή τοπικό δίκτυο με στόχο την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων τόσο μεταξύ τους όσο και με τον τελικό χρήστη.

Το Internet of Things θεωρείται η νέα επανάσταση στον τομέα της επικοινωνίας. Ο αριθμός των συσκευών που συνδέονται στο διαδίκτυο αυξάνεται ραγδαία μέρα με τη μέρα, με αποτέλεσμα οι τεχνολογίες και τα πρωτόκολλα που υλοποιούν την ασύρματη επικοινωνία να αποτελούν επίκεντρο της επιστημονικής έρευνας.

Το IoT επηρεάζει την ανθρώπινη καθημερινότητα, σε τομείς όπως η υγεία αλλά είναι και ισχυρή η παρουσία του στις βιομηχανίες εξασφαλίζοντας έξυπνες μεταφορές, αυτοματοποίηση και έξυπνη βιομηχανική κατασκευή.

Εξερευνώντας τη βιβλιογραφία δεν υπάρχει σαφής ορισμός για το IoT (Internet of Things). Με τον ορό IoT ο Kevin Ashton [1] ήθελε να περιγράψει ένα σύστημα μέσα στο οποίο τα αντικείμενα τα οποία υπάρχουν στον κόσμο θα συνδέονται στο διαδίκτυο και θα παρέχουν πληροφορίες μέσω των διάφορων αισθητήρων που φέρουν.



Εικόνα 1.1 Βασικές Εφαρμογές του Internet of Things και χαρακτηριστικά του [2]

## 1.2 Δίκτυα μεγάλης εμβέλειας και χαμηλής κατανάλωσης (LPWAN)

Αρκετές εφαρμογές του IoT απαιτούν από τις συσκευές να βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση και να έχουν μικρή κατανάλωση ενέργειας. Τα πρωτόκολλα Low Power Wide Area Network (LPWAN) είναι σχεδιασμένα για συσκευές που φέρουν πάνω τους αισθητήρες και χρειάζεται να μεταφέρουν τα δεδομένα τους σε μεγάλη εμβέλεια και με μικρή κατανάλωση ενέργειας. Η πληθώρα των εφαρμογών που χρησιμοποιεί πρωτόκολλα LPWAN, μεταφέρουν δεδομένα λίγες φορές τη μέρα και τροφοδοτούνται από μπαταρίες που μπορεί να έχουν διάρκεια ζωής ως και μερικά χρόνια. Η απόσταση που μπορούν να μεταφέρουν την πληροφορία ποικίλει ανάλογα με τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής και τις παραμετροποιήσεις που έχει υποστεί αυτή από το δημιουργό της εφαρμογής. Έχει παρατηρηθεί πως η απόσταση αυτή κατά μέσο όρο σε αγροτικές περιοχές κυμαίνεται κοντά στα 10 χιλιόμετρα, ενώ σε αστικές περιοχές η εμβέλεια της μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 5 χιλιόμετρα.

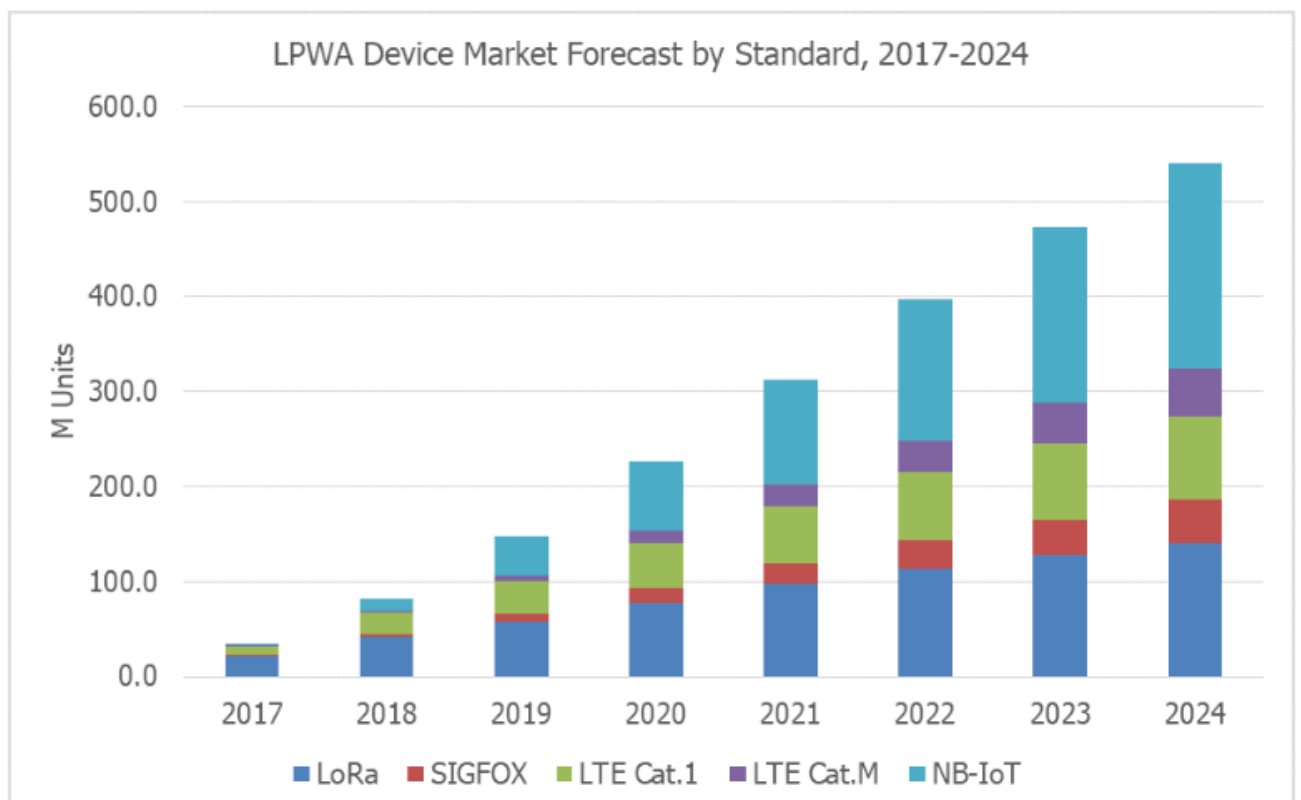


Εικόνα 1.2 Συσκευές που φέρουν αισθητήρες και έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν την πληροφορία σε μεγάλη απόσταση μέσω των δικτύων Low Power Wide Area Network (LPWAN) [21]

### 1.3 Ανάπτυξη LPWAN

Σύμφωνα με έρευνα που δημοσιεύτηκε το 2019 από το Techno Systems Research Co. προβλέπεται αύξηση των δικτύων κατηγορίας (LPWAN) τα επόμενα χρόνια, με την τεχνολογία LoRa να καταλαμβάνει μεγάλο μερίδιο της αγοράς.

Στο παρακάτω γράφημα που αποτελεί στοιχείο της έρευνας που έγινε, φαίνονται οι συσκευές (σε εκατομμύρια), ανά τεχνολογία LPWAN που χρησιμοποιούνται καθώς και η πρόβλεψη για τα επόμενα χρόνια, ανά έτος.



Εικόνα 1.3 Συσκευές (σε εκατομμύρια), ανά τεχνολογία LPWAN που χρησιμοποιούνται και η πρόβλεψη των επόμενων ετών [1]

### 1.3 Εφαρμογές Low Power Wide Area Network (LPWAN)

#### **Φωτισμός Δημοσίων χώρων.**

Στις μέρες μας οι περισσότεροι δρόμοι, πλατείες, πάρκα και άλλοι δημόσιοι χώροι ειδικά στις μεγάλες πόλεις φωτίζονται από χιλιάδες λάμπες. Πολλές φορές όμως αυτές οι λάμπες καίγονται και χρειάζονται αλλαγή. Τα αρμόδια όργανα που είναι υπεύθυνα για να τις αντικαταστήσουν τυχαίνει πολλές φορές να ενημερώνονται μετά από έκκληση πολιτών (όχι άμεσα) με αποτέλεσμα να αργεί η αντικατάσταση της λάμπας. Η κατάσταση αυτή μπορεί εύκολα να ανατραπεί με μια εφαρμογή LPWAN που θα παρακολουθεί την κατάσταση της λάμπας και θα ενημερώνει τους υπευθύνους, τότε μια λάμπα πρέπει να αντικατασταθεί.

#### **Φωτεινοί σηματοδότες**

Το πρόβλημα της κυκλοφοριακής συμφόρησης στις μεγάλες πόλεις αποτελεί ένα μείζον θέμα που απασχολεί τις αρμόδιες αρχές κάθε πόλης. Η κίνηση στους δρόμους αποτελεί αναπόφευκτο κομμάτι, οι φωτεινοί σηματοδότες βοηθούν στη ρύθμιση της κυκλοφορίας. Όταν ένας φωτεινός σηματοδότης δεν λειτουργεί σωστά, επειδή έχει καεί μια λάμπα, πέρα από την κίνηση που δημιουργεί στους δρόμους, μπορεί να δημιουργήσει και αυτοκινητιστικά ατυχήματα ή να προκαλέσει τον τραυματισμό κάποιου πεζού. Αν και είναι αδύνατο να καταφέρουμε να μην καίγονται οι λάμπες μπορούμε να έχουμε την άμεση ενημέρωση τόσο της τροχαίας όσο και των υπεύθυνων για την αντικατάσταση αυτής. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφόρων αισθητήρων και τη δημιουργία μια εφαρμογής LPWAN που είναι ιδανική για την μετάδοση της πληροφορίας σε μεγάλες αποστάσεις και με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.

#### **Θέση Στάθμευσης**

Στις μεγάλες πόλεις ένα φλέγον θέμα είναι η θέση στάθμευσης. Η διαθεσιμότητα αυτής μπορεί να γίνει άμεσα γνωστή στον οδηγό μέσω μιας εφαρμογής που υλοποιείται με ένα πρωτόκολλο LPWAN. Αυτό θα βελτιώσει την καθημερινότητα των πολιτών και ίσως αποτελεί μια λύση στην κυκλοφοριακή συμφόρηση, που δημιουργείται καθημερινά στους δρόμους.

## **Μέσα μαζικής μεταφοράς**

Τα μέσα μαζικής μεταφοράς αποτελούν μέρος της καθημερινότητας πολλών πολιτών που τα χρησιμοποιούν για να μετακινηθούν τόσο για επαγγελματικούς λόγους όσο και προσωπικούς. Η τοποθεσία τους μπορεί να γίνει άμεσα γνωστή στους χρήστες μέσω εφαρμογής που χρησιμοποιεί την τεχνολογία LPWAN. Αυτό αποτελεί μια λύση που συμβάλλει στην αναβάθμιση του τρόπου ζωής των πολιτών και διευκολύνει την καθημερινότητα.

## Κατάσταση της Τέχνης

### 2.1 Ασύρματη επικοινωνία συσκευών.

Με την πάροδο των χρόνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας ο άνθρωπος άρχισε σιγά-σιγά να απαλλάσσεται από ενσύρματες επικοινωνίες. Απαλλάχτηκε από τις καλωδιώσεις χωρίς όμως αυτό να έχει επιπτώσεις στην επικοινωνία με άλλους ανθρώπους ή και με συσκευές. Καθημερινά χρησιμοποιούμε συσκευές, τόσο στον επαγγελματικό μας χώρο, όσο και στην προσωπική μας ζωή, οι οποίες επικοινωνούν ασύρματα (πχ εκτυπωτές, ποντίκι, ασύρματα ακουστικά). Όλες αυτές οι συσκευές πέρα από αισθητήρες, εφαρμόζουν και ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας για τη μετάδοση της πληροφορίας. Σ' αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζονται κάποια από τα πιο δημοφιλή πρωτόκολλα και γίνεται αναφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Επίσης, παρουσιάζονται εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιούνται.

### 2.2 ZigBee

Το ZigBee, είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματου δικτύου για μετάδοση δεδομένων με χαμηλό ρυθμό και μικρή εμβέλεια. Το κάτω επίπεδο είναι το επίπεδο πρόσβασης πολυμέσων και το φυσικό επίπεδο χρησιμοποιεί την τυπική προδιαγραφή IEEE 802.15.4. Τα κύρια χαρακτηριστικά είναι ο χαμηλός ρυθμός δεδομένων, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό κόστος, η υποστήριξη μεγάλου αριθμού διαδικτυακών κόμβων, η ευκολία στη χρήση του για τις ανάγκες μιας εφαρμογής και η ασφάλεια των προσωπικών δεδομένων.

Η τεχνολογία ZigBee βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4. Η τεχνολογία που καθορίζεται σε αυτή τη συμφωνία είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας χαμηλής κατανάλωσης και μικρής απόστασης. Το όνομά του προέρχεται από τον χαρακτηριστικό ήχο που κάνουν τα φτερά της μέλισσας, καθώς πετάει σε μικρές αποστάσεις από λουλούδι σε λουλούδι, για να συλλέξει τη γύρη.

Το πρωτόκολλο αυτό είναι ιδανικό κυρίως για το πεδίο του αυτόματου ελέγχου και χειρισμού από απόσταση. Μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορες συσκευές.

## Χαρακτηριστικά του ZigBee

- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας

Σε κατάσταση αναμονής (χαμηλής κατανάλωσης), μπορεί να τροφοδοτείται από μπαταρία και να έχει σε λειτουργία ένα κόμβο από λίγους μήνες έως και δυο χρόνια, κάτι που το κάνει να ξεχωρίζει αφού, το Bluetooth μπορεί να λειτουργεί για λίγες ημέρες και το Wi-Fi μόνο λίγες ώρες.

- Χαμηλό κόστος

Έχοντας ένα αισθητά πιο απλό πρωτόκολλο από ότι το Bluetooth, μειώνονται οι απαιτήσεις για τον ελεγκτή επικοινωνίας. Ο κύριος κόμβος πλήρους λειτουργίας χρειάζεται κώδικα 32 Kb ενώ ο κόμβος δευτερεύουσας λειτουργίας είναι κώδικας έως 4 Kb λιγότερο. Η τιμή του ενός τσιπ ξεκινάει από τα 2 ευρώ περίπου.

- Χαμηλό ρυθμό δεδομένων

Το ZigBee λειτουργεί με χαμηλό ρυθμό δεδομένων από 20 έως 250 kbps, (λειτουργεί σε ζώνες ραδιοζεύξης χωρίς άδεια, συμπεριλαμβανομένων των 2,4 GHz, 915 MHz και 868 MHz.

- Κοντινή εμβέλεια

Η εμβέλεια του κυμαίνεται σε τιμές από 10m έως και 100m και μπορεί επίσης να αυξηθεί σε 1 έως 3 km μεταβαλλώντας την ισχύ μετάδοσης RF. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι κόμβοι να βρίσκονται σε μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλο.

- Μικρή καθυστέρηση

Η ταχύτητα απόκρισης του ZigBee είναι μεγάλη, γενικά χρειάζεται μόνο 15 ms για τη μετάβαση από την κατάσταση αναμονής στην κατάσταση λειτουργίας και μόνο 30 ms για σύνδεση στο δίκτυο, χαρακτηριστικό που συμβάλλει στη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Αυτό μπορεί να συγκριθεί με το Bluetooth, που χρειάζεται 3 έως 10 δευτερόλεπτα, ενώ το WiFi χρειάζεται μόνο 3 δευτερόλεπτα.

- Υψηλή χωρητικότητα

Το ZigBee μπορεί να υιοθετήσει τη δομή δικτύου αστέρα ή πλέγματος. Ένας κύριος κόμβος διαχειρίζεται πολλούς υπό-κόμβους, συγκεκριμένα ένας κύριος κόμβος μπορεί να διαχειριστεί μέχρι 254 υπό-κόμβους.

- Υψηλή ασφάλεια

Το ZigBee έχει τρεις επιλογές επιπέδων ασφαλείας

- 1) Χωρίς ασφάλεια
- 2) Τη χρήση λιστών ελέγχου πρόσβασης (ACL) για την αποτροπή μη εξουσιοδοτημένης πρόσβασης στα δεδομένα.
- 3) Κρυπτογράφηση, χρησιμοποιώντας το Advanced Encryption Standard (AES 128 bit ή 16 Byte). Ο αλγόριθμος AES δεν χρησιμοποιείται μόνο για την κρυπτογράφηση των πληροφοριών, αλλά και για την επικύρωση των δεδομένων που αποστέλλονται.

- Ζώνες συχνοτήτων που εξαιρούνται από άδεια χρήσης

Υποστηρίζει τρεις ζώνες συχνοτήτων: ζώνη 2,45 GHz που χρησιμοποιεί 16 κανάλια, ζώνη 915 MHz που χρησιμοποιεί 10 κανάλια και ζώνη 868 MHz χρησιμοποιώντας 1 κανάλι. Ο ρυθμός μεταφοράς είναι αντίστοιχα 250 Kbps, 40 Kbps και 20 Kbps.

Συχνότητα	868 MHz	915 MHz	2,4 GHz
Κανάλια	1	10	16
Ρυθμός δεδομένων	20 Kbps	40 Kbps	250 Kbps
Εφαρμογή	Ευρώπη	ΗΠΑ	Υπόλοιπος κόσμος

**Εικόνα 2.1 Πίνακας προδιαγραφών Zigbee**

Η προοπτική εφαρμογής του ZigBee

Το ZigBee δεν δημιουργήθηκε για να αντικαταστήσει τεχνολογίες όπως το Wi-Fi και το Bluetooth. Απευθύνεται σε εφαρμογές που βάσει των χαρακτηριστικών του το καθιστούν ιδανικό προς χρήση. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιοι τομείς που χρησιμοποιείται το ZigBee.

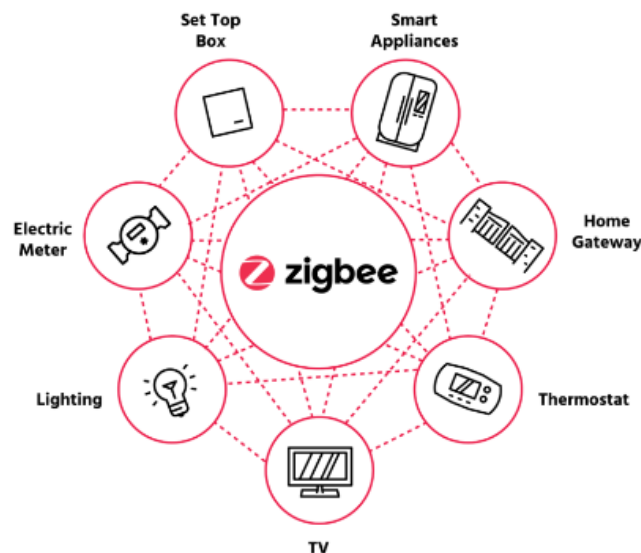


Οι τομείς εφαρμογής του ZigBee

Έλεγχος Κτηρίου: έλεγχος θερμοκρασίας χώρου, έλεγχος φωτισμού, έλεγχος παραθύρων, έλεγχος πόρτας αν είναι κλειστή, έλεγχος τιμής αερίου στον μετρητή.

Βιομηχανία: Έλεγχος διαφόρων αισθητήρων όπως θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης.

Γεωργία : Πληροφορίες για το έδαφος, όπως υγρασία, pH και θερμοκρασία.



**Εικόνα 2.2** Συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν ασύρματα με τη χρήση της τεχνολογίας ZigBee

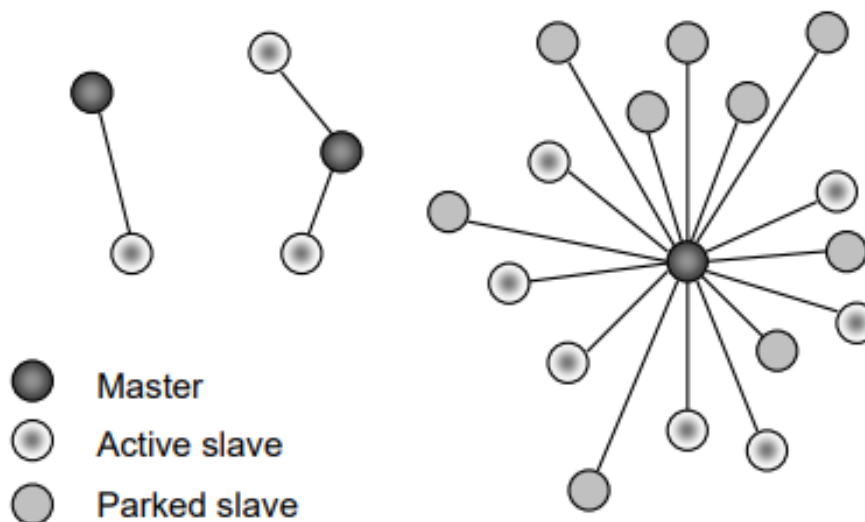
## 2.2 Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους ασύρματης επικοινωνίας. Το Bluetooth [9] είναι ένα πρότυπο για ασύρματες επικοινωνίες που βασίζεται σε ένα ραδιοσύστημα σχεδιασμένο για συσκευές επικοινωνίας μικρής εμβέλειας, οικονομικές, όπως εκτυπωτές, φαξ, joystick, ποντίκια, πληκτρολόγια κ.λπ. Οι συσκευές αυτές χρησιμοποιούνται για επικοινωνίες μεταξύ υπολογιστών και άλλων έξυπνων συσκευών, επίσης λειτουργούν ως γέφυρες μεταξύ άλλων δικτύων ή λειτουργούν ως κόμβοι δικτύων ad hoc. Η αρχική ιδέα πίσω από την τεχνολογία Bluetooth δημιουργήθηκε το 1994, όταν η Ericsson Mobile

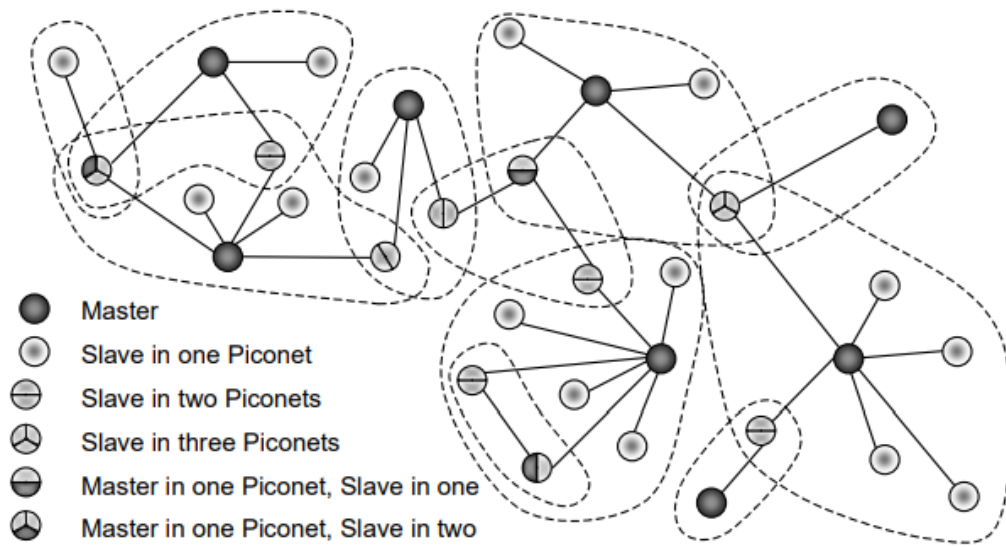
Communications άρχισε να μελετά ένα σύστημα χαμηλής κατανάλωσης για να αντικαταστήσει τα καλώδια στις μικρές αποστάσεις και να συνδέσει τα κινητά τηλέφωνα με διάφορα αξεσουάρ (π.χ ακουστικά). Λειτουργεί στη ζώνη χωρίς άδεια 2,4 GHz έως 2,485 GHz. Οι μέγιστες συσκευές που μπορούν να συνδεθούν ταυτόχρονα είναι επτά. Η εμβέλεια του Bluetooth δεν είναι πολύ μεγάλη, συνήθως κυμαίνεται κοντά στα 10m με το ρυθμό δεδομένων να φτάνει έως 3 Mbps ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά και την έκδοση λειτουργίας του.

Αρχιτεκτονική Bluetooth:

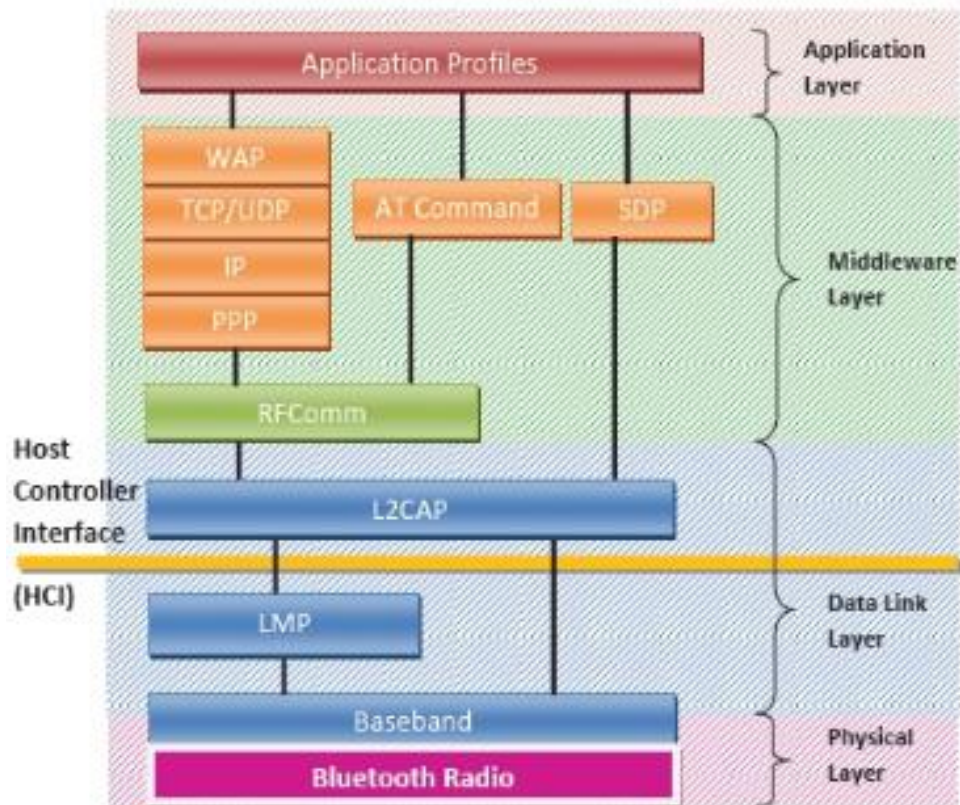
Μια συσκευή Bluetooth μπορεί να λειτουργεί είτε σαν master είτε σαν slave. Το Piconet είναι ένας τύπος δικτύου Bluetooth που περιέχει ένα master και συνδέεται με επτά απομακρυσμένες συσκευές σε μικρή απόσταση που λειτουργούν σαν slave δηλαδή στο σύνολο αποτελείται από οκτώ συσκευές. Η μέγιστη απόσταση που μπορούν να έχουν οι απομακρυσμένες συσκευές είναι περίπου 10m. Η επικοινωνία μεταξύ δυο δευτερευουσών συσκευών (slave) δεν είναι εφικτή, παρά μόνο αν μετατραπούν σε master. Τα Piconets μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι ένα Scatternet. Ένας Slave που υπάρχει σε ένα Piconet μπορεί να είναι master για ένα άλλο Piconet και έτσι μπορεί να μεταδοθεί η πληροφορία από διαφορετικά Piconet.



Εικόνα 2.3 Τύπος δικτύου Bluetooth, ένας master συνδέεται με επτά slave (Piconet) [9]



Εικόνα 2.4 Τα Piconets μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι ένα Scatternet [9]



Εικόνα 2.5 Τα επίπεδα που απαρτίζεται το πρωτόκολλο Bluetooth [10]

## **Το πρωτόκολλο Bluetooth αποτελείται από τα παρακάτω επίπεδα**

Η στοίβα πρωτοκόλλου Bluetooth ορίζεται ως μια σειρά επιπέδων, αν και υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που διασχίζουν πολλά επίπεδα. Μια συσκευή Bluetooth μπορεί να αποτελείται από δύο μέρη: έναν κεντρικό υπολογιστή που υλοποιεί τα υψηλότερα επίπεδα της στοίβας πρωτοκόλλου και μια μονάδα που υλοποιεί τα χαμηλότερα επίπεδα.

### **Επίπεδο ραδιοζεύξης (RF):**

Το επίπεδο ραδιοζεύξης Bluetooth είναι το χαμηλότερο επίπεδο αρχιτεκτονικής Bluetooth που αντιστοιχεί στο φυσικό επίπεδο του μοντέλου OSI. Καθορίζει τη φυσική δομή και τις προδιαγραφές για τη μετάδοση ραδιοκυμάτων [12].

### **Επίπεδο σύνδεσης βασικής ζώνης (basenand):**

Η ζώνη βάσης ανήκει στο φυσικό επίπεδο του Bluetooth. Διαχειρίζεται φυσικά κανάλια καθώς και τη διόρθωση σφαλμάτων, επιλογή μετάβασης και ασφάλεια. Το επίπεδο Baseband βρίσκεται ακριβώς από πάνω από το επίπεδο (RF). Υλοποιεί τη δημιουργία σύνδεσης μέσα σε ένα piconet, διευθυνσιοδότηση, μορφή πακέτου, χρονισμό και έλεγχο ισχύος.

### **Επίπεδο πρωτοκόλλου Link Manager:**

Εκτελεί τη διαχείριση των ήδη εγκατεστημένων συνδέσμων που περιλαμβάνει διαδικασίες ελέγχου ταυτότητας και κρυπτογράφησης. Το επίπεδο πρωτοκόλλου Link Manager είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία συνδέσμων, την εκτέλεση της ρουτίνας για την σύνδεση και τον τερματισμό αυτής ύστερα από εντολή ή αποτυχία σύνδεσης.

### **Επίπεδο πρωτοκόλλου (L2CAP)-Το Logical Link Control and Adaptation Protocol**

Λαμβάνει δεδομένα από υψηλότερα επίπεδα της στοίβας Bluetooth και από εφαρμογές και τα στέλνει στα χαμηλότερα επίπεδα της στοίβας. Είναι αυτό που επιτρέπει την επικοινωνία ανάμεσα στα κατώτερα και στα ανωτέρα επίπεδα του πρωτοκόλλου.

Οι κύριες λειτουργίες του **L2CAP** είναι:

- Πολυπλεξία μεταξύ διαφορετικών πρωτοκόλλων υψηλότερου επιπέδου για να επιτραπεί σε πολλές συνδέσεις υψηλότερου επιπέδου να μοιράζονται μια ενιαία

σύνδεση ACL. Το L2CAP χρησιμοποιεί αριθμούς καναλιών για την επισήμανση των πακέτων, έτσι ώστε, όταν ληφθούν, να μπορούν να δρομολογηθούν στο σωστό μέρος.

- Τμηματοποίηση και επανασυναρμολόγηση για να επιτρέπεται η μεταφορά μεγαλύτερων πακέτων από την υποστήριξη των κατώτερων στρωμάτων.
- Διαχείριση ποιότητας υπηρεσιών για πρωτόκολλα υψηλότερου επιπέδου.

### **Πρωτόκολλο Service Discovery (SDP):**

Service Discovery Protocol (SDP) είναι ένα πρωτόκολλο που επιτρέπει στις συσκευές Bluetooth να ανακαλύψουν τις υπηρεσίες που άλλες συσκευές Bluetooth είναι πρόθυμες να μοιραστούν.

### **Πρωτόκολλο Μεταφοράς RFCOMM:**

Το RFCOMM είναι ένα απλό, αξιόπιστο πρωτόκολλο μεταφοράς που παρέχει εξομοίωση των ρυθμίσεων της σειριακής καλωδιακής γραμμής και της κατάστασης μιας σειριακής θύρας RS-232. Παρέχει συνδέσεις σε πολλές συσκευές βασιζόμενος στο L2CAP για να χειριστεί την πολυπλεξία μέσω μίας σύνδεσης.

Το RFCOMM υποστηρίζει δύο τύπους συσκευών:

- Τύπος 1 - Εσωτερική προσομοιωμένη σειριακή θύρα. Αυτές οι συσκευές είναι συνήθως το τέλος μιας διαδρομής επικοινωνίας, για παράδειγμα ένας υπολογιστής ή ένας εκτυπωτής.
- Τύπος 2 - Ενδιάμεση συσκευή με φυσική σειριακή θύρα. Αυτές είναι συσκευές που βρίσκονται στη μέση μιας διαδρομής επικοινωνίας, για παράδειγμα ένα μόντεμ.

### **Πρωτόκολλο επικοινωνίας OBEX (Object Exchange):**

Είναι το πρωτόκολλο που επιτρέπει την ανταλλαγή πληροφοριών και δεδομένων μεταξύ δυο συσκευών.

### **Πρωτόκολλο Ασύρματης Πρόσβασης (WAP):**

Είναι συντομογραφία της έννοιας ασύρματης πρόσβασης (Wireless Access Protocol), χρησιμοποιείται για σύνδεση στο διαδίκτυο.

## **Πρωτόκολλο Έλεγχου Τηλεφωνίας TCS:**

Είναι συντομογραφία για το Πρωτόκολλο Ελέγχου Τηλεφωνίας (Telephony Control Protocol). Καθορίζει τον τρόπο αποστολής των τηλεφωνικών κλήσεων μέσω μιας σύνδεσης Bluetooth. Δίνει οδηγίες για τη σηματοδότηση, που απαιτείται για τη ρύθμιση κλήσεων από σημείο σε σημείο και από σημείο σε πολλαπλά σημεία. Με τη χρήση του TCS, οι κλήσεις από εξωτερικό δίκτυο μπορούν να κατευθυνθούν σε άλλες συσκευές Bluetooth.

**Επίπεδο Application layer:** Επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδράσει με διάφορες εφαρμογές.

## **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του πρωτοκόλλου Bluetooth**

### **Πλεονεκτήματα:**

- Οικονομικό.
- Εύχρηστο
- Μπορεί να διαπεράσει εμπόδια όπως τους τοίχους ενός σπιτιού.
- Δημιουργεί μια Ad-hoc σύνδεση αμέσως, χωρίς καλώδια.
- Χρησιμοποιείται για μεταφορά φωνής και δεδομένων.

### **Μειονεκτήματα:**

- Δεν παρέχει υψηλή ασφάλεια δεδομένων.
- Έχει αργό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων: 3 Mbps.
- Έχει μικρή εμβέλεια: 10 μέτρα.
- Η επικοινωνία Bluetooth δεν υποστηρίζει δρομολόγηση.
- Καταναλώνει πολύ ενέργεια.

### **Εφαρμογές:**

- Χρησιμοποιείται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για τη μεταφορά δεδομένων όπως εικόνες και βίντεο.
- Μεταφορά δεδομένων και πληροφοριών από κινητό τηλέφωνο σε κινητό τηλέφωνο.
- Χρησιμοποιείται σε εκτυπωτές και άλλες ηλεκτρικές συσκευές που χρειάζεται να επικοινωνούν ασύρματα χωρίς όμως να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων.

## 2.3 Wi-Fi (Wireless-Fidelit)

Ο στόχος του προτύπου IEEE 802.11 είναι να παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα σε συσκευές που απαιτούν γρήγορη εγκατάσταση, όπως φορητούς υπολογιστές, ή γενικά κινητές συσκευές εντός WLAN ( Ασύρματο Τοπικό Δίκτυο). Καθορίζει τις διαδικασίες MAC για την πρόσβαση στο φυσικό μέσο, το οποίο μπορεί να είναι υπέρυθρη ακτινοβολία ή ραδιοσυχνότητα. Το Mobility αντιμετωπίζεται στο επίπεδο MAC, επομένως η μεταβίβαση μεταξύ γειτονικών κυψελών είναι διαφανής σε επίπεδα που είναι χτισμένα πάνω σε μια συσκευή IEEE802.11.

Το Wi-Fi εκπέμπει σε συχνότητες 2,4 GHz ή 5 GHz. Υψηλότερη συχνότητα σημαίνει ότι τα σήματα μπορούν να μεταφέρουν περισσότερα δεδομένα.

Το Wi-Fi είναι μια οικογένεια πρωτοκόλλων ασύρματου δικτύου, που βασίζεται στην οικογένεια προτύπων IEEE 802.11, τα όποια επιτρέπουν σε ψηφιακές συσκευές οι οποίες βρίσκονται σε κοντινές αποστάσεις να ανταλλάσσουν δεδομένα και να μπορούν να συνδεθούν στο διαδίκτυο. Το Wi-Fi είναι εμπορικό σήμα της μη κερδοσκοπικής εταιρίας Wi-Fi Alliance. Από το 1997 έως και σήμερα έχουν εξελιχτεί διάφορα πρωτόκολλα βασισμένα στο αρχικό 802.11. Στον παρακάτω πίνακα αναγράφονται αυτά τα πρωτόκολλα, καθώς και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.

Έκδοση	Ζώνη συχνοτήτων	Μέγιστη ταχύτητα	Έτος
IEEE 802.11a	5 GHz	54 Mbps	1999
IEEE 802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	1999
IEEE 802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	2003
IEEE 802.11n	2,4 GHz και 5 GHz	600 Mbps	2009
IEEE 802.11ac	5 GHz	1,3 Gbps	2013
IEEE 802.11ax	2,4 GHz και 5 GHz	Έως 10 Gbps	2019

Εικόνα 2.6 Εκδόσεις Wi-Fi , χαρακτηριστικά και χρονολογία εμφάνισης

## Πλεονεκτήματα του WiFi

- Μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Εύκολη εγκατάσταση.
- Προστασία Δεδομένων.
- Ασφάλεια απορρήτου.
- Ταχύτερες μεταφορές δεδομένων.

## Μειονεκτήματα Wi-Fi

- Μικρή εμβέλεια (80 μέτρα).
- Μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

## Εφαρμογές

- Το Wi-Fi μπορεί να είναι καλό για εφαρμογές IoT που είναι συνδεδεμένες σε πρίζα και χρειάζεται να στείλουν πολλά δεδομένα και γρήγορα, όπως ένα βίντεο.
- Συστήματα ασφαλείας
- Χρησιμοποιείται σε φορητούς υπολογιστές.
- Σύνδεση ψηφιακής κάμερας ασύρματα σε κινητό τηλέφωνο.
- Έξυπνο σπίτι

## 2.4 NB-Iot (Narrow Band IoT)

Το NB-IoT έγινε γνωστό από τον οργανισμό 3GPP το 2016. Είναι μια επέκταση χαμηλής ισχύος του LTE (4G Long Term Evolution) που αναπτύχθηκε για μεγάλη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και εφαρμογή χαμηλού κόστους. Το NB-IoT είναι μια ασύρματη τεχνολογία ιδανική για εφαρμογές IoT, που έχουν ως κύρια χαρακτηριστικά χαμηλό κόστος, ασύρματη επικοινωνία μεγάλης εμβέλεια και μικρή κατανάλωση ενεργείας [12]. Σε αντίθεση με άλλες τεχνολογίες, χρησιμοποιεί συχνότητες που έχουν λάβει άδεια (700MHz, 800 MHz και 900 Mhz).

Στην πλειοψηφία των εφαρμογών όπου χρησιμοποιείται, απαιτείται μικρός όγκος δεδομένων και η συχνότητα που γίνεται η λήψη της πληροφορίας είναι πολύ μικρή. Πολλοί πάροχοι κινητής τηλεφωνίας εξακολουθούν να ερευνούν και να αναπτύσσουν τις δυνατότητες του



δικτύου. Υποστηριζόμενο από όλους τους γνωστούς κατασκευαστές κινητού εξοπλισμού το NB-IoT μπορεί να συνυπάρχει μαζί με δίκτυα κινητής τηλεφωνίας 2G, 3G και 4G .

Η τεχνολογία NB-IoT έχει τη δυνατότητα να συνδέσει πάνω από εκατό χιλιάδες συσκευές ανά σταθμό βάσης. Η μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων αντιστοιχεί σε 20kbps uplink και 200kbps downlink, ενώ το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο για κάθε μήνυμα μπορεί να φτάσει 1600 bytes. Τα συστήματα NB-IoT απαιτούν εύρος ζώνης τουλάχιστον 180 kHz για μετάδοση κατερχόμενη και ανοδικής ζεύξης.

Έχοντας αυτό ως ελάχιστη απαίτηση φάσματος αναπτύσσεται με τρεις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας:

- Ως αυτόνομο φέρων σήμα
- Ως ενσωματωμένο σε κάποιο άλλο LTE σήμα
- Ως ενσωματωμένο στην ζώνη φρουρήσης (guard band) κάποιου LTE σήματος. [13]

Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας μπορεί να φτάσει και τα δέκα χρόνια όταν η συσκευή μεταφέρει πληροφορία 200 bytes μια φορά την ημέρα.

Το NB-IoT επιτρέπει τις διάφορες συσκευές που πληρούν το πρότυπο μετάδοσης να λειτουργούν σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας. Τα χαμηλού εύρους ζώνης σήματα που χρησιμοποιεί είναι ιδανικά για τεχνολογίες που ήδη υπάρχουν (GSM και LTE).

Ο οργανισμός 3GPP συνεχίζει την έρευνα και στο μέλλον θα παρουσιάσει νέες εκδόσεις που θα φέρουν δυνατότητες όπως λειτουργίες για τον εντοπισμό θέσης, αναβάθμιση λογισμικού των τελικών συσκευών και άλλες δυνατότητες που θα διευκολύνουν τη δημιουργία εφαρμογών βασισμένες στην τεχνολογία NB-IoT.

### **Πλεονεκτήματα του NB-IoT.**

- **Κάλυψη δικτύου.** Το NB-IoT υποστηρίζει πολλές συσκευές που μπορούν να συνδεθούν με δισεκατομμύρια κόμβους.
- **Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.** Το NB-IoT δε χρειάζεται για να λειτουργεί να εκτελεί κάποιο βαρύ λειτουργικό σύστημα ή να επεξεργάζεται πολύ τα δεδομένα του σήματος

για την παραγωγή της πληροφορίας, γεγονός που το καθιστά ανταγωνιστικό σε σχέση με άλλες τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας.

- **Χαμηλό κόστος συσκευών.** Οι συσκευές που το υλοποιούν αποτελούν χαμηλότερης πολυπλοκότητας συσκευές με αποτέλεσμα η τιμή ανά μονάδα να κυμαίνεται περίπου στα 8\$
- **Πολυετής διάρκεια μπαταρίας.** Η μπαταρία μπορεί να έχει διάρκεια ζωής έως και 10 χρόνια.
- **Ασφάλεια.** Το NB-IoT περιέχει όλες τις λειτουργίες κρυπτογράφησης και ελέγχου ταυτότητας που βασίζονται σε SIM.

#### **Μειονεκτήματα του NB-IoT.**

- Αργή μεταφορά δεδομένων
- Αδυναμία συνεχούς λήψης και αποστολής δεδομένων
- Περιορισμένη μετάδοση πληροφορίας (Αδυναμία μετάδοση φωνής ή βίντεο)

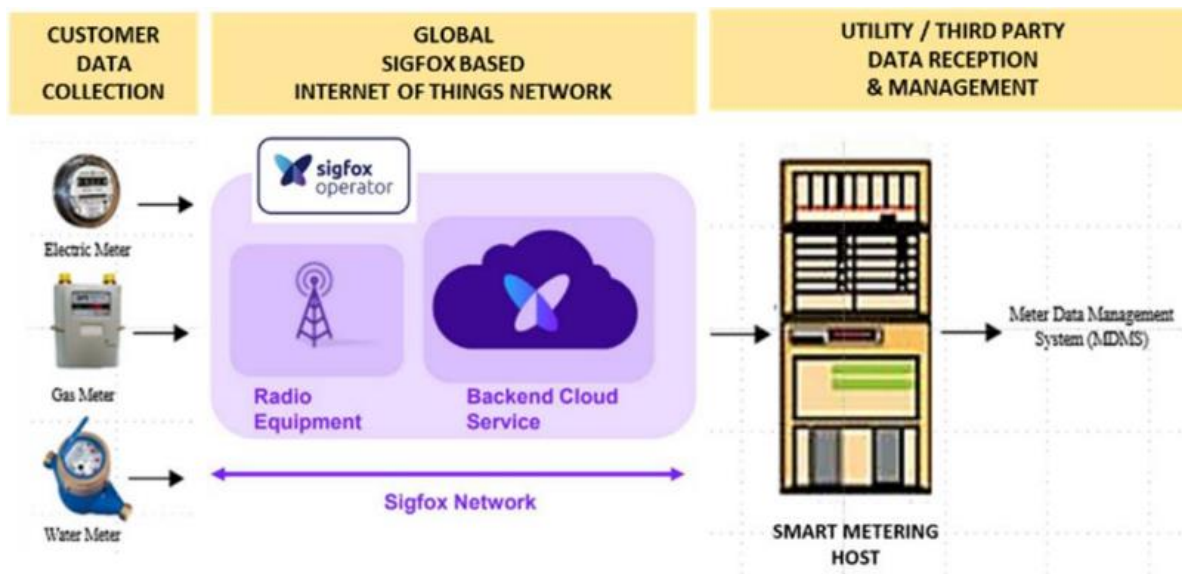
Το NB-IoT μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τις ακόλουθες εφαρμογές:

- **Έξυπνη μέτρηση:** Πολύ συχνά οι μετρητές (νερού, αερίου) τοποθετούνται σε δύσκολα προσβάσιμα σημεία όπως υπόγεια και απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές. Αυτό έχει ως συνέπεια τη δυσκολία καταγραφής της ένδειξης του μετρητή. Η τεχνολογία NB-IoT με τα βασικά χαρακτηριστικά που τη διακρίνουν, όπως μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας μπορεί να δώσει λύση στο παραπάνω πρόβλημα, στέλνοντας μικρό όγκο δεδομένων που αφορά τη μέτρηση ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- **Έξυπνες πόλεις:** Το NB-IoT μπορεί να βοηθήσει τις τοπικές αρχές να λύσουν πολλά από τα προβλήματα που σχετίζονται με την πόλη τους. Τέτοια προβλήματα είναι ο φωτισμός των δρόμων καθώς και άλλων δημόσιων χώρων. Η σωστή λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας, η θέση parking και διάφοροι άλλοι παράγοντες.
- **Έξυπνα κτίρια:** Η πληροφορία για τη θερμοκρασία, την υγρασία καθώς και για την ασφάλεια του κτιρίου μπορεί εύκολα να βελτιωθεί με διάφορες εφαρμογές που στηρίζονται στην τεχνολογία NB-IoT.

- **Παρακολούθηση:** Παρέχει έναν οικονομικό και ασφαλή τρόπο για την εποπτεία περιουσιακών στοιχείων που δεν κινούνται μόνιμα και δεν απαιτείται η συνεχής παρακολούθηση αυτών.
- **Έξυπνη γεωργία:** Η συνδεσιμότητα NB-IoT επιτρέπει στους αγρότες να συλλέγουν πληροφορίες που αφορούν τις καλλιέργειες τους, όπως υγρασία εδάφους και θερμοκρασίας, με σκοπό τη βελτιστοποίηση της παράγωγης. Επίσης παρέχει την δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, που θα τους επιτρέψει να ενεργοποιήσουν το σύστημα ποτισμού ή να το απενεργοποιήσουν.

## 2.5 Sigfox

Το Sigfox ανήκει στην κατηγορία δικτύων (LP-WAN). Εμφανίστηκε το 2010 από εταιρία start-up με έδρα τη Γαλλία. Η Sigfox έχει τους δικούς της σταθμούς βάσης, εξοπλισμένους με γνωσιακό λογισμικό, προσφέροντας πλήρη υποστήριξη σε εφαρμογές IoT. Οι ιδιότητες βάσεις συνδέονται σε back-end διακομιστές υποστήριξης, χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο που βασίζεται σε IP. Οι τελικές συσκευές συνδέονται με τις ιδιότητες βάσεις χρησιμοποιώντας διαμόρφωση δυαδικής φασικής μετατόπισης (BPSK), σε φορέα ζώνης ISM (στενή ζώνη συχνοτήτων των 100Hz). Όπως και το LoRa, έτσι κι αυτό χρησιμοποιεί ζώνες ISM χωρίς άδεια (στην Ευρώπη 868 MHz, στη Βόρεια Αμερική 915 MHz και στην Ασία 433 MHz). Η Sigfox χρησιμοποιεί επαρκώς όλο το ευρύς ζώνης και έτσι να ελαχιστοποιείται ο θόρυβος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και την υψηλή ευαισθησία του δέκτη. Σε βάρος όμως του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων, που φτάνει μέχρι και τα 100bps. Η επικοινωνία αρχικά δεν ήταν αμφίδρομη, γινόταν μόνο επικοινωνία ανοδικής ζεύξης (up-link). Αργότερα επιτεύχθηκε και η επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης (down-link). Για να πραγματοποιηθεί η επικοινωνία κατερχόμενης ζεύξης (down-link) χρειάζεται να προηγηθεί μια επικοινωνία ανερχόμενης ζεύξης (up-link). Ο μέγιστος αριθμός μηνυμάτων ανοδικής ζεύξης (up-link) είναι 140 μηνύματα και το ωφέλιμο μέγεθος των μηνυμάτων φτάνει τα 12byte. Σε αντίθεση με τα μηνύματα κατερχόμενης ζεύξης (down-link), που μπορεί να είναι μέχρι τέσσερα μηνύματα την ημέρα, κάτι που περιορίζει την επιβεβαίωση των μηνυμάτων (up-link). Τα μηνύματα ανοδικής ζεύξης (up-link) έχουν μήκος 8 bytes.



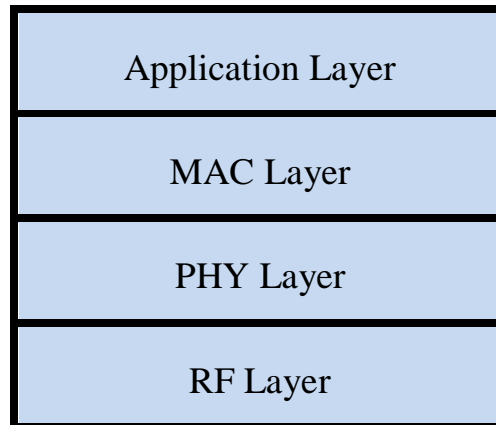
**Εικόνα 2.7 Έξυπνες μετρήσεις χρησιμοποιώντας την τεχνολογία Sigfox στο Δίκτυο των Πραγμάτων [26]**

Κάθε μήνυμα τελικής συσκευής μεταδίδεται αρκετές φορές (τρεις τουλάχιστον) μέσω διαφορετικών καναλιών συχνότητας. Για το σκοπό αυτό, στην Ευρώπη για παράδειγμα, η ζώνη μεταξύ 868.180 MHz και 868.220 MHz χωρίζεται σε 400 ορθογώνια κανάλια 100 Hz (μεταξύ αυτών 40 κανάλια είναι δεσμευμένα και δεν χρησιμοποιούνται) [16]. Οι τελικές συσκευές επιλέγουν τυχαία συχνότητα που μεταδίδουν τα μηνύματα και οι σταθμοί λαμβάνουν ταυτόχρονα σε όλα τα κανάλια κάτι που απλοποιεί πολύ το πρωτόκολλο επικοινωνίας και επομένως και το κόστος παραγωγής των τελικών συσκευών.

Οι αποστάσεις που μπορεί να φτάσει το σήμα, σύμφωνα με την εταιρία, είναι τα 10 χιλιόμετρα σε ανοιχτές αγροτικές περιοχές όπου υπάρχει οπτική επαφή, ενώ σε πυκνό αστικό περιβάλλον η μέγιστη απόσταση κυμαίνεται περίπου στα 5 χιλιόμετρα. Η διάρκεια ζωής της μπαταρίας που τροφοδοτεί τις τελικές συσκευές μπορεί να ξεπεράσει τα 10 χρόνια.

Στο εξωτερικό έχουν υλοποιηθεί πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως η γεωργία, η βιομηχανία, τα έξυπνα σπίτια και άλλες εφαρμογές, που καλύπτουν απλές καθημερινές ανθρώπινες ανάγκες. Στην Ελλάδα η εταιρία Sigfox ήρθε το 2019 ενώ το δίκτυο της είναι διαθέσιμο σε άλλες 65 χώρες στο κόσμο.

Η στοίβα πρωτοκόλλου της Sigfox φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



**Εικόνα 2.8** Επίπεδα πρωτοκόλλου που απαρτίζουν την τεχνολογίας Sigfox

### **Επίπεδο Ραδιοσυχνοτήτων RF**

Ακολουθούν οι λειτουργίες του στρώματος των ραδιοσυχνοτήτων:

- Υπάρχουν δύο υλοποιήσεις του επιπέδου ραδιοζεύξης στο σύστημα Sigfox, το UNB (Ultra Narrow Band) και το OSSS (Orthogonal Sequence Spread Spectrum).
- Φάσμα συχνοτήτων ΗΠΑ (915 MHz), στην Ευρώπη (868 MHz), στην Κίνα και στην Ασία (433 MHz).
- Η μέγιστη ισχύς μετάδοσης 25 mW καθορίζεται για μεταδόσεις up-Link.
- Η ευαισθησία του δέκτη Sigfox ξεκινά από την τιμή -135 dBm.

### **Επίπεδο PHY**

Ακολουθούν οι λειτουργίες του στρώματος PHY:

- Χειρίζεται το πλαίσιο MAC κατά τη μετάδοση και κατά τη λήψη.
- Χρησιμοποιεί διαμόρφωση BPSK στην uplink και GFSK στην downlink (στην υλοποίηση UNB). Το DSSS με ορθογώνια σηματοδότηση χρησιμοποιείται σε υλοποιήσεις OSSS.

## **Επίπεδο MAC**

Ακολουθούν οι λειτουργίες του στρώματος MAC:

- Χειρίζεται τη συναρμολόγηση του πλαισίου MAC (κατά τη διάρκεια της μετάδοσης) και την αποσυναρμολόγηση του πλαισίου MAC (κατά τη λήψη).
- Υλοποιεί UNB για τη μετάδοση μηνυμάτων down-Link .
- Μεριμνά για τον έλεγχο ταυτότητας των τελικών χρηστών.
- Μεριμνά για την εύρεση σφαλμάτων χρησιμοποιώντας FCS.

## **Επίπεδο Εφαρμογής**

Ορίζει διαφορετικές εφαρμογές σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής και τις ρυθμίσεις του χρήστη.

### **2.6 LoRa**

Η LoRa είναι μια τεχνολογία διαδικτύου που έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό του την μεγάλη εμβέλεια και τη χαμηλή κατανάλωση. Ανήκει στην κατηγορία δικτύων (LPWAN), ευρείας περιοχής δικτύωσης και χαμηλής ισχύος. Έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές συσκευές IoT μεγάλης εμβέλειας, με κύρια πηγή τροφοδοσίας τους μπαταρία. Μπορεί να φιλοξενήσει εκατομμύρια συσκευές, βρίσκει εφαρμογή σε παρά πολλούς τομείς, όπως βιομηχανία, γεωργία ή έξυπνα σπίτια και έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας. Από την έναρξη της λειτουργίας του, περίπου το 2015, η πορεία του είναι ανοδική.

#### **Πλεονεκτήματα LoRa**

- Ιδανικό για μετάδοση και λήψη δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις
- Ασύρματη σύνδεση
- Δυνατότητα Αμφίδρομης επικοινωνίας
- Χαμηλό κόστος κατασκευής
- Χαμηλή κατανάλωση ενέργειας (τροφοδότηση από μπαταρία)
- Ασφάλεια απορρήτου και προστασία δεδομένων.

## Μειονεκτήματα

- Αδυναμία μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων (βίντεο)
- Αργή μεταφορά δεδομένων
- Αδυναμία συνεχούς παρακολούθησης και παραγωγής δεδομένων.

## Εφαρμογές

- Οικιακά συστήματα ασφάλειας
- Θέση ρομποτικών οχημάτων
- Παρακολούθηση στόλου οχημάτων (ταξί, λεωφορείων, Ι.Χ.)
- Καταγραφή περιβαλλοντικής μόλυνσης
- Καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων (υγρασία, θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση)
- Κατάληψη θέσης παρκαρίσματος

## 2.7 Ιδιαίτερες εφαρμογές LoRa

Στις μέρες μας όλο και περισσότερο δημιουργείται η ανάγκη για έλεγχο και λήψη δεδομένων από απομακρυσμένες συσκευές. Κύρια χαρακτηριστικά της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία της εφαρμογής είναι η μεγάλη εμβέλεια, αλλά και η μικρή κατανάλωση ενέργειας.

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε κάποιες εφαρμογές, όπου η τεχνολογία LoRa έδωσε λύση σε προβλήματα που απασχολούν την κοινωνία αλλά και την επιστήμη, εκεί όπου άλλες τεχνολογίες αδυνατούν, λόγω τεχνικών χαρακτηριστικών.

### 2.71 Σύστημα παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT με τεχνολογία επικοινωνίας LoRa

Ο τομέας της υγείας αποτελεί κομμάτι συνεχούς έρευνας και εξέλιξης κάθε αναπτυσσόμενης κοινωνίας. Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας IoT που αποτελείται από συσκευές που

φέρουν αισθητήρες και μπορούν να αντλήσουν δεδομένα, αλλά και να τα μεταφέρουν, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της περίθαλψης. Αυτή την ιδέα προσπάθησαν να εξελίξουν οι δημιουργοί (Norbahiah Misran, Mohammad Shahidul Islam, Kok Beng Gan, Nowshad Amin) της παρακάτω εφαρμογής με τίτλο «Σύστημα παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT με τεχνολογία επικοινωνίας LoRa». Πολλές φορές, η συνεχής παρακολούθηση ενός ασθενή συμβάλει τόσο στην πρόληψη όσο και στην θεραπεία του, αποφεύγοντας καταστάσεις που μπορεί να έχουν δραματικές συνέπειες τόσο για την εξέλιξη της υγείας του όσο και στην ίδια του την ζωή. Ωστόσο, υπάρχουν πολλά προβλήματα που καθιστούν τη συνεχή παρακολούθηση και τις μετρήσεις που αφορούν την πορεία της υγείας του ασθενή ανέφικτη. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα είναι η έλλειψη υποδομών αλλά και τεχνολογίας. Ακόμη ένας παράγοντας είναι η έλλειψη ανθρώπινου δυναμικού. Είναι πραγματικά ανέφικτη η παρουσία νοσηλευτικού και ιατρικού προσωπικού μόνιμα, δίπλα σε έναν ασθενή. Πέρα από τη λύση των παραπάνω προβλημάτων, με τη βοήθεια της τεχνολογίας εξασφαλίζεται και η δυνατότητα συνεχόμενων μετρήσεων, καταγραφής αυτών καθώς και παρουσίαση των μετρήσεων στην πάροδο του χρόνου. Έτσι, δημιουργείται μια καλύτερη εικόνα για τον ασθενή, στους επιστήμονες που έχουν αναλάβει την πρόληψη, την θεραπεία και την αποκατάσταση της υγείας κάθε πολίτη που το έχει ανάγκη.

Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποίησε διάφορους βιοϊατρικούς αισθητήρες όπως, αισθητήρας ΗΓΚ, αισθητήρας θερμοκρασίας σώματος και αισθητήρας κορεσμού οξυγόνου και παλμού.



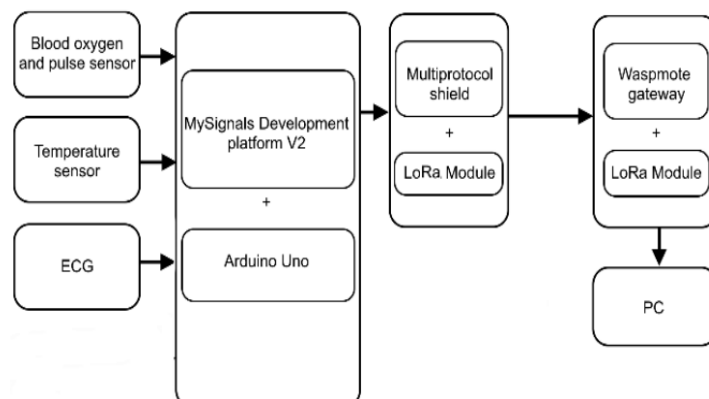
**Εικόνα 2.9 Βιοϊατρικοί αισθητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής [2]**



Για τη μετάδοση των δεδομένων υγείας που μετρήθηκαν ασύρματα, χρησιμοποιείται η τεχνολογία επικοινωνίας LoRa, η οποία είναι μια νέα τεχνική διαμόρφωσης φάσματος, που επιτρέπει την αποστολή δεδομένων σε εξαιρετικά χαμηλούς ρυθμούς και σε εξαιρετικά μεγάλες αποστάσεις.

Έτσι από τους δημιουργούς της συγκριμένης εφαρμογής, με τη βοήθεια και την εξέλιξη της τεχνολογίας και συγκεκριμένα της ασύρματης επικοινωνίας LoRa, δόθηκε η δυνατότητα στους επιστήμονες να μπορούν να έχουν ανά τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της μέρας κάποιες σημαντικές μετρήσεις, που αφορούν στην υγεία του ασθενή. Επίσης, δόθηκε λύση στο πρόβλημα για την μεταφορά δεδομένων αρκετά χιλιόμετρα μακριά, με χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και πρόσβαση τελικά στις μετρήσεις από τον κεντρικό υπολογιστή.

Στην παρακάτω εικόνα οι δημιουργοί της εφαρμογής παραθέτουν ένα διάγραμμα που δείχνει την πορεία της πληροφορίας καθώς και τις τεχνολογίες με τις οποίες η πληροφορία ταξιδεύει από τον ασθενή μέχρι τον παραλήπτη, που θα τις λάβει απομακρυσμένα από τον υπολογιστή του και θα είναι σε θέση να τα επεξεργαστεί και να εξαγάγει αποτελέσματα.



**Εικόνα 2.9** Διάγραμμα που αντιπροσωπεύει το συνολικό σύστημα της εφαρμογής «Σύστημα παρακολούθησης υγείας που βασίζεται στο IoT με τεχνολογία επικοινωνίας LoRa» [17]

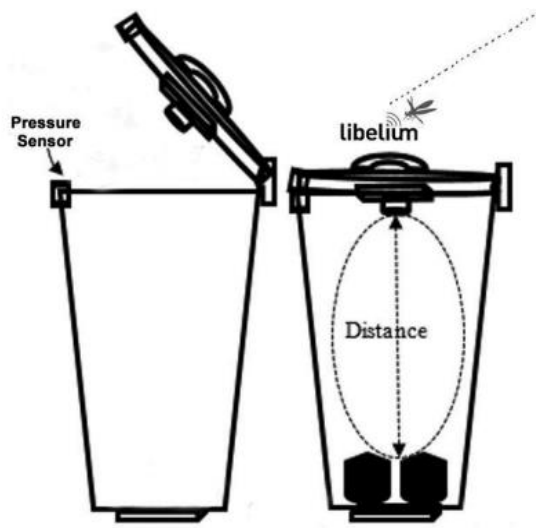
## 2.72 Εφαρμογή Smart Bin με χρήση LoRa

Στις σύγχρονες πόλεις η καθαριότητα αποτελεί ένα από τα βασικά προβλήματα που τίθενται συχνά για επίλυση. Η υπερχειλίση των σκουπιδιών δημιουργεί πρόβλημα στην καθημερινότητα των πολιτών και πέρα από το αισθητικό κομμάτι, μπορεί να προκαλέσει και σοβαρές ασθένειες στον πληθυσμό. Η συνεισφορά της τεχνολογίας IoT (Διαδίκτυο των Πραγμάτων) μπορεί να αποτελεί ολοκληρωτική λύση στο παραπάνω πρόβλημα. Οι δημιουργοί της εφαρμογής (Dimitris Ziouzos, Minas Dasygenis) με τίτλο (Smart Bin με χρήση LoRa) χρησιμοποίησαν έναν μικροελεγκτή καθώς και αισθητήρα υπερήχων για να εκτιμήσουν το επίπεδο των απορριμμάτων μέσα σε ένα δημόσιο κάδο. Οι πληροφορίες μεταφέρονται με τη βοήθεια της τεχνολογίας Lora που αποτελεί μια τεχνολογία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και παρέχει τη δυνατότητα μεταφοράς σε μεγάλες αποστάσεις (5-10 χλμ).

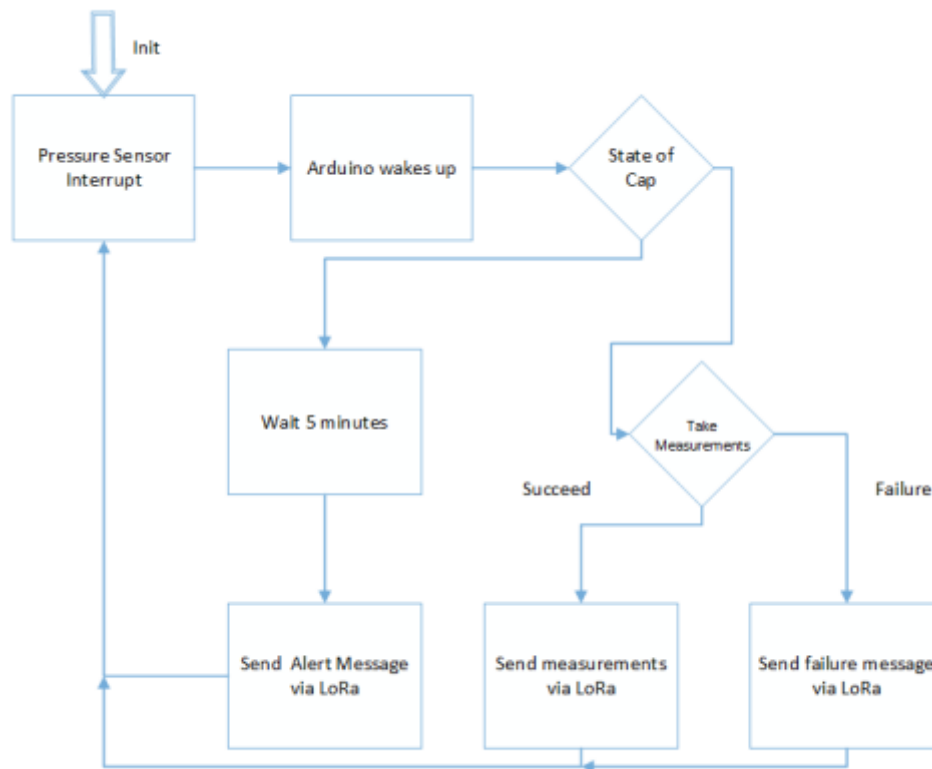
Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Μικροελεγκτής Arduino Uno που διαθέτει ένα chip ATmega328. Αυτός ο μικροελεγκτής είναι ιδανικός για τη συλλογή των μετρήσεων των αισθητήρων και την αποστολή τους στο Lora Gateway.

1. Αισθητήρας πίεσης: Για τον έλεγχο αν το καπάκι είναι ανοιχτό ή όχι.
2. Αισθητήρας θερμοκρασίας: Για έλεγχο της θερμοκρασίας μέσα στον κάδο απορριμμάτων και σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης πυρκαγιάς όπου το Arduino θα στείλει ειδοποίηση στο σύστημα.
3. Αποστασιόμετρο : Στο έργο χρησιμοποιήθηκε αισθητήρας υπερήχων HC-SR04, για τον υπολογισμό του ποσοστού πλήρωσης. Ο αισθητήρας εγκαταστάθηκε στο επάνω μέρος του καπακιού του κάδου.
4. Συνδεσιμότητα: Libelium SX1272, για την αποστολή των δεδομένων στην πύλη LoRa. Η ζώνη συχνοτήτων είναι 863-870 MHz στην Ευρώπη και 902-928 MHz στις ΗΠΑ. Επιλέχθηκε η τεχνολογία LoRa για συνδεσιμότητα, λόγω της μεγάλης εμβέλειας, του χαμηλού κόστους και της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας.



Εικόνα 2.10 Κάδος απορριμμάτων και αισθητήρες που φέρει για τη μετάδοση της πληροφορίας [18]



Εικόνα 2.11 Διάγραμμα λειτουργίας του συστήματος (Smart Bin) [18]

Όταν ανοίξει το καπάκι του κάδου, μια διακοπή αποστέλλεται στον επεξεργαστή Arduino Uno. Το Arduino περιμένει να κλείσει το καπάκι, για να κάνει μετρήσεις. Εάν το καπάκι

κλείσει σε 5 λεπτά, ο αισθητήρας υπερήχων λαμβάνει τις μετρήσεις και τις στέλνει μέσω LoRa στην πύλη Lora και τα δεδομένα αποθηκεύονται στο Πληροφοριακό Σύστημα.

Εάν το καπάκι δεν κλείσει σε 5 λεπτά, το σύστημα στέλνει μια ειδοποίηση στο LoRa Gateway ότι το καπάκι είναι ανοιχτό και δεν μπορεί να κάνει μετρήσεις και κάποιος πρέπει να το κλείσει χειροκίνητα. Όλα τα δεδομένα αποθηκεύονται στο Πληροφοριακό Σύστημα, όπου οι χρήστες μπορούν να δουν το επίπεδο πλήρωσης των κάδων και τη θερμοκρασία σε πραγματικό χρόνο.

Το σύστημα LoRa αποτελείται από

- LoRa End-devices: Αισθητήρες που συνδέονται μέσω της διεπαφής ραδιοζεύξης LoRa σε μία ή περισσότερες πύλες LoRa
- LoRa Gateways: Συγκεντρωτές που γεφυρώνουν τις συσκευές στον LoRa Net-Server, ο οποίος είναι το κεντρικό στοιχείο της αρχιτεκτονικής δικτύου.
- LoRa NetServer: Ο διακομιστής δικτύου που ελέγχει ολόκληρο το δίκτυο (διαχείριση ασύρματων πόρων, έλεγχος εισδοχής, ασφάλεια κ.λπ.).

Τα πλεονεκτήματα του δικτύου LoRa είναι η μεγάλη απόσταση, η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και το χαμηλό κόστος εγκατάστασης αυτού του δικτύου.

Η παραπάνω εφαρμογή μπορεί να δώσει λύση σε ένα ζήτημα πολύ κρίσιμο, που απασχολεί τους πολίτες μιας μεγάλης αλλά και μικρής πόλης. Με τη συλλογή των δεδομένων οι αρμόδιες αρχές που είναι υπεύθυνες για την καθαριότητα μπορούν να οργανώσουν καλύτερα τα δρομολόγια για την περισυλλογή των απορριμμάτων καθώς και να εξετάσουν κάθε περίπτωση ξεχωριστά που χρειάζεται να επέμβουν άμεσα.

## **2.8 Σύγκριση τεχνολογιών LPWAN (Low-Power Wide-Area Network)**

Σε αυτή την ενότητα θα συγκρίνουμε τις βασικές τεχνολογίες LPWAN που αναφέραμε παραπάνω στην εργασία μας (LoRa, NB-IOT και Sigfox). Η επιλογή της τεχνολογίας LPWAN για την υλοποίηση μιας εφαρμογής, αποτελεί τον βασικό παράγοντα για την λειτουργικότητά της. Πολλοί παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη για την σωστή επιλογή.

Οι κύριοι παράγοντες είναι η κατανάλωση ενέργειας, το κόστος υλοποίησης της εφαρμογής η εμβέλεια, ο όγκος δεδομένων αλλά και η ταχύτητα μετάδοσης των σημάτων.

## 2.81 Ποιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης (QoS)

Τόσο το LoRa όσο και το Sigfox χρησιμοποιούν πρωτόκολλα ασύγχρονης επικοινωνίας και εκπέμπουν σε ζώνες συχνοτήτων, που δεν χρειάζονται άδεια. Έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν το σήμα χωρίς να επηρεάζεται από παρεμβολές, θορύβους αλλά και να μην εξασθενεί στις μακρινές αποστάσεις. Ωστόσο δεν μπορεί να προσφέρει την ίδια ποιότητα εξυπηρέτησης που προσφέρει το NB-IoT. Το NB-IoT χρησιμοποιεί σύγχρονο πρωτόκολλο επικοινωνίας που δημιουργήθηκε με βάση το LTE, επίσης χρησιμοποιεί φάσμα συχνοτήτων με άδεια. Τα παραπάνω εξασφαλίζουν την καλύτερη ποιότητα εξυπηρέτησης, αλλά έχουν ως αντίκτυπο το μεγάλο κόστος ( 500 εκατομμύρια ευρώ ανά MHz LTE φάσματος). Έτσι το NB-IoT συνιστάται για εφαρμογές που απαιτούν εγγυημένη ποιότητα υπηρεσιών.

## 2.82 Εύρος δικτύου

Βασικός παράγοντας για την επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας LPWAN είναι η εμβέλεια που προσφέρει. Η τεχνολογία που ξεχωρίζει είναι η Sigfox καθώς μια ολόκληρη περιοχή μπορεί να υποστηριχτεί από έναν μόνο σταθμό βάσης (πάνω από 40 km). Από την άλλη το LoRa έχει μικρότερη εμβέλεια (κάτω από 20 km). Το NB-IoT έχει τη μικρότερη εμβέλεια κάτω από 10 km, γι' αυτό συνιστάται κυρίως για συσκευές που τοποθετούνται σε εσωτερικούς χώρους ή σε βαθιά κλειστούς χώρους μακριά από την τυπική πρόσβαση των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Επίσης το NB-IoT δεν είναι ιδανικό για περιοχές που δεν υπάρχει κάλυψη LTE π.χ αγροτικές περιοχές.

## 2.83 Χρονολογία

Οι προδιαγραφές NB-IoT κυκλοφόρησαν το 2016. Ενώ οι τεχνολογίες Sigfox και LoRa προϋπήρχαν και είναι πλέον διαθέσιμες σε πολλές χώρες για την υλοποίηση διάφορων εφαρμογών. Επιπλέον, ένα τεράστιο πλεονέκτημα της τεχνολογίας LoRa είναι η ευελιξία της. Το LoRa προσφέρει ανάπτυξη τοπικού δικτύου, π.χ. LAN κάτι που είναι αδύνατο για τις τεχνολογίες Sigfox και NB-IoT.

## 2.84 Κόστος

Το κόστος αποτελεί έναν καταλυτικό παράγοντα για την υλοποίηση μιας εφαρμογής, το NB-IoT λόγω του φάσματος που χρησιμοποιεί φέρει μεγάλο κόστος σε σχέση με τις άλλες δύο τεχνολογίες (LoRa και Sigfox), ενώ είναι και πολύ πιο ακριβή η αγορά της τελικής συσκευής.

## 2.85 Διάρκεια ζωής μπαταρίας & καθυστέρηση

Στις τεχνολογίες Sigfox, LoRa και NB-IoT οι τελικές συσκευές όταν δεν χρειάζονται να μεταδώσουν ή να λάβουν κάποια πληροφορία βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής, έτσι δεν καταναλώνουν πολλή ενέργεια, κάτι που έχει ως αποτέλεσμα οι τελικές συσκευές να τροφοδοτούνται από μπαταρία και να έχουν διάρκεια ζωής μερικά χρόνια. Βέβαια το NB-IoT δαπανά περισσότερη ενέργεια από τις άλλες δυο επικοινωνίες λόγω του πρωτοκόλλου σύγχρονης τεχνολογίας που χρησιμοποιεί και την ποιότητα υπηρεσιών εξυπηρέτησης (QoS).

Ωστόσο το NB-IoT έχει το πλεονέκτημα της χαμηλής καθυστέρησης, είναι αρκετά πιο γρήγορο στη μετάδοση πληροφορίας, αλλά και στη λήψη πληροφορίας από τις άλλες δυο τεχνολογίες. Επομένως, για εφαρμογές που είναι ευαίσθητες στο λανθάνοντα χρόνο και έχουν μεγάλο όγκο δεδομένων για αποστολή, το NB-IoT είναι η κατάλληλη τεχνολογία. Αν αυτοί οι δυο παράγοντες δεν επηρεάζουν την εφαρμογή είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν οι τεχνολογίες LoRa και Sigfox.

## 2.86 Επεκτασιμότητα & μήκος ωφέλιμου φορτίου

Η υποστήριξη μεγάλου αριθμού συσκευών είναι ένα χαρακτηριστικό που έχουν και οι τρεις τεχνολογίες (LoRa, Sigfox και NB-IoT). Αυτές οι τεχνολογίες λειτουργούν αποτελεσματικά με μεγάλο αριθμό συνδεδεμένων συσκευών. Ωστόσο το NB-IoT ξεχωρίζει, καθώς επιτρέπει σχεδόν διπλάσιο αριθμό συσκευών ανά κυψέλη, σε σχέση με τις άλλες δυο τεχνολογίες.

Επίσης το NB-IoT επίσης προσφέρει το μεγαλύτερο ωφέλιμο φορτίο κατά τη μεταφορά δεδομένων σε σχέση με τις άλλες δυο τεχνολογίες. Το NB-IoT επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων έως και 1600 byte. Το LoRa επιτρέπει την αποστολή έως και 255 bytes δεδομένων. Αντίθετα, η Sigfox έχει το μικρότερο μήκος ωφέλιμου φορτίου 12 byte, το οποίο αποτελεί αποτρεπτικό χαρακτηριστικό για εφαρμογές που θέλουν να μεταφέρουν μεγάλο όγκο δεδομένων.

### 3. LoRa (Long Range)

Η τεχνολογία LoRa ανήκει στην οικογένεια LPWAN. Κύρια χαρακτηριστικά της είναι η μεγάλη εμβέλεια, η πολύ μικρή κατανάλωση ενέργειας, καθώς και το μικρό κόστος κατασκευής. Από την άλλη, η τεχνολογία αυτή φέρει και κάποιους περιορισμούς όσον αφορά τη χρήση της. Τα βασικά μειονεκτήματα που έχει να διαχειριστεί ο δημιουργός της εφαρμογής είναι το μέγεθος των δεδομένων που δε μπορεί να ξεπερνά τα 255 bytes, καθώς και το ρυθμό των δεδομένων αυτών μέχρι 21 kbps.

Αναπτύχθηκε από την εταιρία Cycleo με έδρα τη Γαλλία και τα δικαιώματα της αγοραστήκαν το 2012 από την Semitic. Το όνομα της είναι εμπνευσμένο από τη μεγάλη εμβέλεια που προσφέρει (Long Range).

#### 3.1 Βασικά χαρακτηριστικά Lora

##### 3.11 Ασύρματη επικοινωνία

Οι συσκευές LoRa έχουν τη δυνατότητα να μεταδίδουν πληροφορίες και μηνύματα ασύρματα, με αποτέλεσμα να αποφεύγονται όλα τα προβλήματα που μπορεί να φέρουν τα καλώδια στο τελικό κύκλωμα (προβλήματα επαφής, μήκος καλωδίου, φθορά καλωδίου, βραχυκυκλώματος).

##### 3.12 Εμβέλεια

Η εμβέλεια της συσκευής LoRa διαφοροποιείται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Για παράδειγμα σε μια αγροτική περιοχή με οπτική επαφή η απόσταση μπορεί να φτάσει πάνω από 10 χιλιόμετρα, ενώ σε ένα πυκνοκατοικημένο αστικό περιβάλλον με πολλά εμπόδια η απόσταση αυτή κυμαίνεται περίπου στα 5 χιλιόμετρα.

##### 3.13 Συχνότητα

Η συχνότητα της συσκευής LoRa εξαρτάται από την εκάστοτε γεωγραφική περιοχή, σε κάθε τόπο έχει τη δική της μοναδική ζώνη συχνοτήτων. Για την Ευρώπη η συχνότητα αυτή είναι 863 με 870 MHz, για την Αμερική 902 με 928 MHz, ενώ για την Κίνα είναι 779 με 787 MHz.

### 3.14 Διαμόρφωση

Η τεχνολογία LoRa για τη μετάδοση μηνυμάτων χρησιμοποιεί παλμούς FM. Οι παλμοί FM αυξάνουν τη μεγάλη εμβέλεια καθώς τα ραδιοκύματα έχουν την ιδιότητα να ταξιδεύουν σε μακρινές αποστάσεις και αποτελεσματικά.

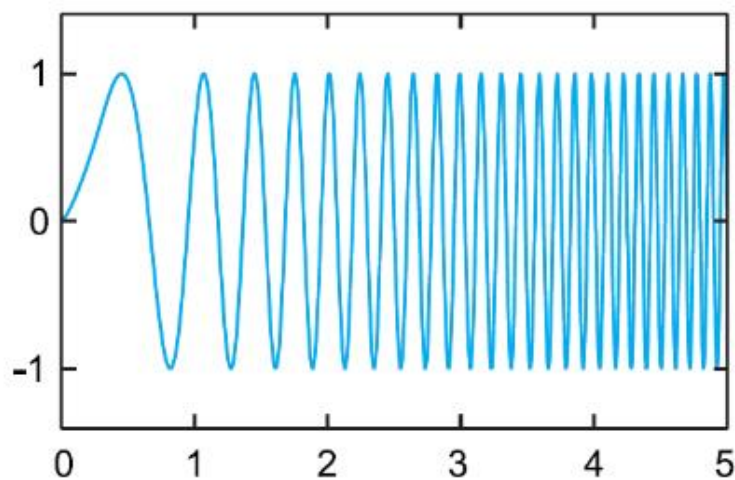
### 3.15 Χωρητικότητα

Τα δίκτυα LoRa μπορούν να επεξεργαστούν και να υποστηρίξουν εκατομμύρια μηνύματα από συσκευές. Συνεπώς, είναι ιδανικά για την εξυπηρέτηση δημόσιων δικτύων.

### 3.15 Ενέργεια

Κύριο χαρακτηριστικό των συσκευών LoRa είναι η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μπορούν να τροφοδοτούνται από μπαταρίες που η διάρκεια ζωής τους να φτάνει τα 10 χρόνια. Αυτό αποτελεί καταλυτικό παράγοντα σε διάφορες εφαρμογές, που δεν έχουν τη δυνατότητα τροφοδοσίας από πρίζα και μειώνει το κόστος συντήρησης του κυκλώματος.

Το μοντέλο αναφοράς Ανοικτής Διασύνδεσης Συστημάτων OSI είναι μια διαστρωματωμένη, αφηρημένη περιγραφή για τη σχεδίαση τηλεπικοινωνιακών και δικτυακών πρωτοκόλλων η οποία καθορίστηκε από την πρωτοβουλία OSI. Είναι γνωστό και ως μοντέλο των επτά επιπέδων. Η τεχνολογία LoRa συνδέεται με τα πρώτα τρία επίπεδα του μοντέλου OSI, με το φυσικό επίπεδο, με το επίπεδο Ζεύξης δεδομένων και με το επίπεδο δικτύου.



Εικόνα 3.1 Chirp Spread Spectrum (CSS)



### 3.2 Διαμόρφωση σήματος.

Το LoRa βασίζεται στην τεχνική διαμόρφωσης Chirp Spread Spectrum (CSS), η οποία προσφέρει μεγάλη εμβέλεια και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Ως Chirp μπορεί να χαρακτηριστεί ένα σήμα που η συχνότητα του αλλάζει με έναν καθορισμένο ρυθμό, ο ρυθμός αυτός μπορεί να μεταβάλλεται τόσο εκθετικά όσο και σταθερά. Δηλαδή η συχνότητα είτε αυξάνεται είτε μειώνεται με καθορισμένο τρόπο κατά τη διάρκεια ενός Chirp. Στην LoRa η συχνότητα μεταβάλλεται γραμμικά με το χρόνο δηλαδή ο ρυθμός είναι σταθερός. Υπάρχουν δυο είδη chirp το up-chirp και το down-chirp. Το ένα είναι όταν αυξάνεται η συχνότητα και το άλλο είναι όταν μειώνεται η συχνότητα. Η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της συχνότητας εξαρτάται από την κεντρική συχνότητα και το εύρος ζώνης της επικοινωνίας.

Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι μετατοπίσεις χρονισμού και συχνότητας μεταξύ πομπού και δέκτη είναι ισοδύναμες, μειώνοντας σημαντικά την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του δέκτη. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τη διαμόρφωση LoRa ανθεκτική στο φαινόμενο Doppler, ιδανική για εφαρμογές που βρίσκονται σχεδόν μόνιμα σε κίνηση. Το εύρος ζώνης συχνότητας αυτού του chirp είναι ισοδύναμο με το φασματικό εύρος ζώνης του σήματος. Η μετατόπιση συχνότητας μεταξύ πομπού και δέκτη μπορεί να έχει μια απόκλιση της τάξης του 20 της εκατό, χωρίς να επηρεάζεται η πληροφορία, κάτι που καθιστά τις συσκευές πιο οικονομικές κατά την κατασκευή τους.

### 3.3 Φυσικό επίπεδο και παράμετροι.

Το LoRa PHY είναι κλειστού κώδικα και ιδιόκτητο, επομένως δεν υπάρχουν επίσημες αναφορές ή προδιαγραφές πρωτοκόλλου για να βασιστεί μια εφαρμογή ανοιχτού κώδικα. Οι βασικές παράμετροι για τη διαμόρφωση του σήματος LoRa είναι το Εύρος Ζώνης (BW), ο Ρυθμός Κωδικοποίησης (CR), η Διασπορά (SF), η φέρουσα συχνότητα (CF) και η Ισχύς Μετάδοσης (Tx Power).

### 3.31 Εύρος Ζώνης (BW)

Το εύρος ζώνης (BW) ορίζει το εύρος συχνοτήτων στη ζώνη μετάδοσης. Το εύρος συχνοτήτων στην τεχνολογία LoRa κυμαίνεται από 7,8 kHz έως και 500 kHz. Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται όμως στις περισσότερες εφαρμογές είναι 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz. Το εύρος ζώνης αποτελεί κύριο παράγοντα της διαμόρφωσης των σημάτων. Για γρήγορες μεταδόσεις χρησιμοποιείται το μεγαλύτερο εύρος ζώνης δηλαδή το 500 kHz, ενώ για μεγάλες αποστάσεις χρησιμοποιείται το μικρότερο εύρος ζώνης δηλαδή 125 kHz. Όταν μια πληροφορία διαδίδεται σε μεγάλο εύρος ζώνης σαφώς και μεταδίδεται πιο γρήγορα αλλά ο θόρυβος επηρεάζει την ποιότητα της επικοινωνίας. Αντιθέτως με το μικρό εύρος ζώνης, η πληροφορία αργεί, αλλά ο θόρυβος δεν επηρεάζει την επικοινωνία.

### 3.32 Ρυθμός Κωδικοποίησης (CR)

Ο Ρυθμός κωδικοποίησης (CR) είναι η παράμετρος που διασφαλίζει τη διόρθωση σφάλματος προσθέτοντας όμως επιπλέον πληροφορία στο μήνυμα. Η τιμή του αντιστοιχεί σε ένα κλάσμα που έχει αριθμητή το 4 και παρανομαστή τις τιμές 4,5,6,7,8. Η διάφορα του αριθμητή και του παρανομαστή αντιστοιχεί στα επιπλέον bits που εισάγονται για να διορθώσουν ενδεχομένως κάποια σφάλματα. Δηλαδή το κλάσμα  $\frac{4}{6}$  σημαίνει πως στα 4 bit πραγματικά δεδομένα προστίθενται και αλλά δύο, για να διορθώσουν τα σφάλματα.

### 3.33 Η Ισχύς Μετάδοσης (Tx Pow)

Η ισχύς μετάδοσης αντιστοιχεί στο ποσό της ισχύος που χρειάζεται για να μεταφερθεί ένα chip. Όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα το σήμα να φτάσει στο δέκτη και να μην εξασθενήσει κατά την διαδρομή στον αέρα. Η τιμή αυτή περιορίζεται συνήθως από το πρωτόκολλο επικοινωνίας ή από τη νομοθεσία.

Η ισχύς μετάδοσης στο LoRa παίρνει τιμές από -4 έως και 20 dBm. Στην Ευρώπη η ισχύς είναι στα 14 dBm.

### 3.34 Διασπορά (SF)

Ο παράγοντας διασποράς (SF) παίρνει τιμές από 6 μέχρι 12 και δηλώνει τον αριθμό των κωδικοποιημένων bits που μπορεί να έχει ένα σύμβολο. Εφόσον ένα bit μπορεί να έχει τιμή 0 ή 1, αυτό σημαίνει πως δεδομένης μιας τιμής για το SF, οι τιμές που μπορεί να κωδικοποιήσει ένα σύμβολο είναι  $2^{SF}$ . Οι τιμές αυτές ονομάζονται και chirps.[23] Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο μεγαλύτερες αποστάσεις μπορεί να διανύσει η πληροφορία αλλά γίνεται και εύκολο για το δέκτη να απομακρύνει τον θόρυβο. Το μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται περισσότερο χρόνο για να μεταδοθεί το σήμα.

Η συχνότητα (CF) είναι η κεντρική συχνότητα της ζώνης μετάδοσης.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τις βασικές παραμέτρους παραμόρφωσης.

Παράμετρος	Τιμές
Bw(kHz)	7,8 έως 500
SF	6,7,8,9,10,11,12
CR	4/5, 4/6, 4/7, 4/8
Tx Pow (dBm)	-4 έως 20

Εικόνα 3.2 Βασικοί παράμετροι παραμόρφωσης της τεχνολογίας LoRa

Σχέσεις Διαμόρφωσης: Συνάρτηση βασικών παραμέτρων παραμόρφωσης

Η ρυθμοαπόδοση υπολογίζεται από τη σχέση

$$Rb = \frac{SF * BW}{2^{SF}} * CR \frac{bits}{s}$$

Ένα σύμβολο αντιστοιχεί  $2^{SF}$  chirps και η τιμή του εύρους ζώνης (BW) αντιστοιχεί στον αριθμό των chirps ανά δευτερόλεπτο. Επομένως η διάρκεια ενός συμβόλου προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \text{ [s]}$$

### 3.4 Πακέτο LoRa

Ένα πακέτο LoRa αποτελείται από δυο βασικά μέρη το Preamble και Payload. Ανάλογα με τη μορφή του πακέτου explicit ή implicit υπάρχει ή όχι κεφαλίδα (header) μετά από το Preamble η κεφαλίδα δίνει επιπλέον πληροφορίες για το πακέτο. Στην implicit μορφή οι πληροφορίες αυτές είναι γνωστές και έτσι δε χρειάζεται η κεφαλίδα (header).

Στην παρακάτω εικόνα 2 φαίνεται η δομή του πακέτου

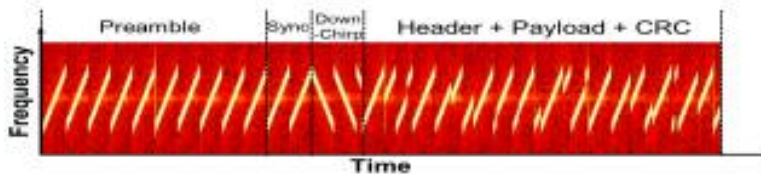
Preamble	Header	Payload	Payload (option)
----------	--------	---------	------------------

**Εικόνα 3.3 Δομή πακέτου της τεχνολογίας LoRa**

Το κάθε πακέτο ξεκάνει με τον πρόλογο (Preamble) και αποτελείται από μια σειρά διαδοχικών σταθερών ανοδικών Chirps (up-chirp) που τα δυο τελευταία κωδικοποιούν τη λέξη συγχρονισμού, οποιοσδήποτε δεκτής θα σταματήσει να ακούει όταν η λέξη συγχρονισμού δεν ταυτίζεται με αυτή που θέλει να «ακούσει». Έπειτα ακολουθεί η επικεφαλίδα που περιέχει βασικές παραμέτρους που αναφέρθηκαν και παραπάνω, που αφορούν στη διαμόρφωση του σήματος. Η επικεφαλίδα κωδικοποιείται πάντα με  $CR=\frac{4}{8}$  που αντιστοιχεί στο μέγεθος του φορτίου σε bytes. Τέλος, το βασικό μήνυμα υπάρχει στο Payload το οποίο έχει μέγεθος μέχρι 255. Τελευταίο και προαιρετικό μέρος του πακέτου αποτελεί Payload (option) που βρίσκεται το CRC, που βοηθά στον εντοπισμό σφαλμάτων του Payload.

### 3.5 Αποδιαμόρφωση σήματος LoRa

Το πακέτο LoRa γίνεται λήψη από το δέκτη έχοντας τη μορφή που αναφέραμε παραπάνω, δηλαδή περιέχει το πρόλογο (preamble), την κεφαλίδα (header) και το κύριο μέρος του μηνύματος (Payload).



Εικόνα 3.4 Δομή πακέτου τεχνολογίας LoRa κατά την αποδιαμόρφωση [22]

Για την αποδιαμόρφωση του σήματος, τρία είναι τα βασικά βήματα που πρέπει να γίνουν.

1. Εύρεση της εκκίνησης του πακέτου
2. Αναγνώριση του τέλους του προλόγου (preamble)
3. Εξαγωγή των δεδομένων ανάλογα με τις μεταβολές της συχνότητας

Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως όταν πολλαπλασιαστεί ένα σήμα με ένα άλλο σήμα διαφορετικής συχνότητας τότε το σήμα που θα προκύψει θα ισούται με το άθροισμα αυτών των δυο σημάτων. Αν τα δυο σήματα που θα πολλαπλασιαστούν είναι αντίθετα, τότε το σήμα που θα προκύψει θα είναι μηδενικής συχνότητας. Ακόμη και διαφορά φάσης να έχουν, θα προκύψει σήμα σταθερής συχνότητας αλλά όχι μηδενικής. Οι ιδιότητες αυτές χρησιμοποιούνται για τα βασικά βήματα της αποδιαμόρφωσης.

- Εύρεση της εκκίνησης του πακέτου:  
Όπως αναφέραμε και παραπάνω, το preamble (πρόλογος) αποτελείται από διαδοχικά up-chirp έτσι κατά το de-chirped (αποδιαμόρφωση) θα παρουσιάζεται με μια ευθεία γραμμή γιατί έχει πολλαπλασιαστεί με down-chirp. Με αυτό τον τρόπο η ευθεία γραμμή αποτελεί ένδειξη για την αρχή του πακέτου.
- Αναγνώριση του τέλους του προλόγου (preamble):  
Για να βρεθεί το τέλος του preamble ακολουθείται παρόμοια μέθοδος με το προηγούμενο βήμα, μόνο που τώρα πολλαπλασιάζεται με down-chirp.
- Εξαγωγή των δεδομένων ανάλογα με τις μεταβολές της συχνότητας:  
Αφού βρεθεί η αρχή και το τέλος του preamble, τα υπόλοιπα σύμβολα αντιστοιχούν σε δεδομένα χρήσιμα για την εφαρμογή.

## 4 LoRaWAN

Το πρωτόκολλο LoRaWAN αποτελεί ένα πρωτόκολλο ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε από την LoRa Alliance, έχει σα βάση του το φυσικό επίπεδο LoRa που παρουσιάστηκε στην προηγούμενη ενότητα. Το επίπεδο LoRaWAN MAC παρέχει το μηχανισμό ελέγχου πρόσβασης μέσου, που επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών συσκευών και πύλης δικτύου.

Application		
LoRa MAC		
Class A	Class B	Class C
Lora Modulation		
EU 868 or 433	US 915	AS 430

Εικόνα 4.1 Επίπεδα πρωτόκολλου τεχνολογίας LoRa

### 4.1 Αρχιτεκτονική δικτύου LoRaWAN

Το LoRaWAN Alliance χρησιμοποιεί μια τοπολογία δικτύου αστεριών. Οι βασικές συσκευές που περιέχει είναι: Τερματικές συσκευές (End-Device), Πύλη (Gateway), Διακομιστής Δικτύου (Network Server), Διακομιστής Εφαρμογών (Application Server) και Join Server.

#### Τερματικές συσκευές (End-Device):

Δεν υπάρχει σαφής ορισμός τι είναι μια τερματική συσκευή. Συνήθως ορίζεται αυτή η συσκευή που μπορεί να λάβει και να στείλει δεδομένα. Τις περισσότερες φορές είναι αισθητήρες ή διακόπτες, οι οποίοι συνδέονται ασύρματα με ένα δίκτυο LoRaWAN [24]. Η επικοινωνία με τις πύλες (gateways) γίνεται μέσω τεχνολογίας LoRa που αναλύθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια.

### **Πύλη (Gateway):**

Ως πύλη μπορεί να θεωρηθεί ένα modem ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή που αποτελεί το σημείο σύνδεσης μεταξύ των τερματικών συσκευών και του Διακομιστή Δικτύου (Network Server). Στην ουσία, το Gateway είναι ο δέκτης των δεδομένων από τις τερματικές συσκευές. Η μεταφορά στο Network Server συνήθως γίνεται μέσω Wi-Fi ή με τη χρήση άλλης τεχνολογίας, η οποία όμως έχει σαν χαρακτηριστικό της, τον υψηλό ρυθμό μετάδοσης.

Τα μηνύματα που μεταδίδονται από τις τελικές συσκευές, γίνονται λήψη από οποιοδήποτε Gateway είναι στην εμβέλεια και μεταφέρονται στο Network Server. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να αυξηθούν οι πιθανότητες μετάδοσης ενός σήματος και να θεωρείται δεδομένη η μεταφορά του σήματος στο Network Server. Πολλές φορές η λήψη από περισσότερα από ένα Gateway, βοηθά στον προσδιορισμό της θέσης του πομπού μέσω ειδικών τεχνικών.

### **Διακομιστή Δικτύου (Network Server):**

Ο Διακομιστής Δικτύου (Network Server) είναι υπεύθυνος για την ομαλή λειτουργία όλου του δικτύου. Συγκεκριμένα είναι αυτός που συγκεντρώνει τις εισερχόμενες πληροφορίες, παρακολουθεί τις Πύλες (Gateways) αλλά και τις τερματικές συσκευές (End-Device). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η πληροφορία που μεταδίδει μια τερματική συσκευή, μπορεί να ληφθεί από περισσότερα από ένα Gateway της περιοχής. Αυτό έχει σαν συνέπεια, να μεταφερθεί στο Network Server δυο φορές η ίδια πληροφορία. Ο Network Server είναι υπεύθυνος για την αφαίρεση των διπλών μηνυμάτων. Το μήνυμα που θα επιλέξει να διαγράψει είναι αυτό που είναι πιο ασθενές, δηλαδή το μήνυμα που έχει το μικρότερο RSS.

Επίσης, ο Διακομιστής Δικτύου (Network Server) έχει καταλυτικό ρόλο και στην αμφίδρομη επικοινωνία. Στην ουσία είναι αυτός που αποθηκεύει τα μηνύματα κατερχόμενης ζεύξης όταν οι τερματικές συσκευές δεν είναι έτοιμες να κάνουν λήψη της πληροφορίας επειδή βρίσκονται σε κατάσταση αναστολής. Τέλος επιλέγει, μέσω ποιου Gateway θα γίνει η κατερχόμενη ζεύξη. Η επιλογή του Gateway γίνεται με βάση την υψηλότερη ένταση λήψης σήματος (Received Signal Strength, RSS).

### **Διακομιστής Εφαρμογών (Application Server):**

Είναι υπεύθυνος για τη σωστή ερμηνεία της πληροφορίας που μεταφέρεται από τις τερματικές συσκευές, αλλά είναι και αυτός που δημιουργεί τα μηνύματα που μέσω των Gateways θα φθάσουν στις τερματικές συσκευές. Για παράδειγμα, λαμβάνοντας δεδομένα από έναν αισθητήρα υγρασίας μιας εφαρμογής που είναι τοποθετημένη σε ένα θερμοκήπιο, θα ερμηνεύσει ότι η υγρασία είναι πολύ χαμηλή και μπορεί να δώσει εντολή να ενεργοποιηθεί το σύστημα ποτισμού.

### **Join Server:**

Είναι υπεύθυνος για την επικοινωνία μιας καινούργιας τερματικής συσκευής στο Δίκτυο.

Μια τερματική συσκευή δε μπορεί να συμμετέχει στο δίκτυο LoRaWAN εάν δεν έχει ενεργοποιηθεί.

Για να ενεργοποιηθεί μια συσκευή χρειάζεται τις παρακάτω τρεις πληροφορίες:

- Διεύθυνση συσκευής (DevAddr): Η διεύθυνση αποτελείται από 32-bit και είναι μοναδική στο δίκτυο. Αυτή η διεύθυνση είναι ισοδύναμη με μια διεύθυνση IP σε ένα δίκτυο TCP/IP. Αυτή η διεύθυνση είναι κοινόχρηστη μεταξύ της τερματικής συσκευής, του Network Server και του Application Server.
- Κλειδί συνεδρίας δικτύου (NwkSKey): Αποτελείται από ένα κλειδί κρυπτογράφησης AES 128-bit που είναι μοναδικό ανά Network Server. Είναι γνωστό στην τερματική συσκευή και στον Network Server, χρησιμοποιείται για την ασφάλεια και την ακεραιότητα του μηνύματος.
- Κλειδί περιόδου λειτουργίας εφαρμογής (AppSKey): Είναι ένα κλειδί κρυπτογράφησης AES 128-bit που είναι μοναδικό για κάθε Application Server. Χρησιμοποιείται για την κρυπτογράφηση και την αποκρυπτογράφηση του ωφέλιμου μηνύματος.

Μια τερματική συσκευή μπορεί να ενεργοποιηθεί για να συνδεθεί στο δίκτυο χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους. Και στις δύο μεθόδους, το μοναδικό αναγνωριστικό της τερματικής συσκευής είναι το DevEUI μια διεύθυνση 64-bit ισοδύναμη με τη διεύθυνση MAC.



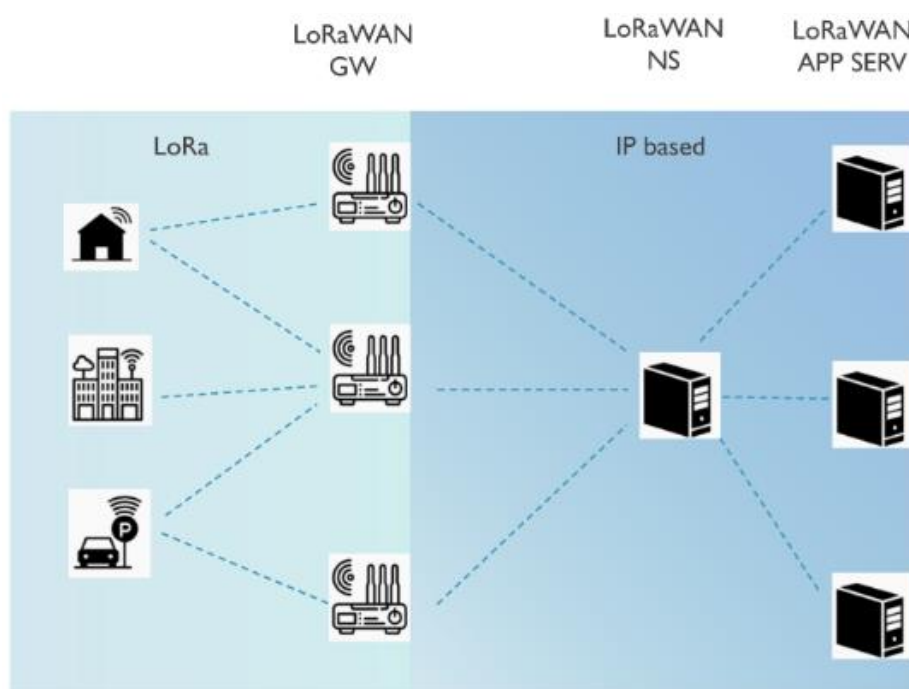
- 1<sup>η</sup> Μέθοδος: Ενεργοποίηση με εξατομίκευση (ABP). Τα κοινόχρηστα κλειδιά αποθηκεύονται στην τερματική συσκευή όταν αυτή ενεργοποιηθεί για πρώτη φορά, μπορεί να ξεκινήσει απευθείας την επικοινωνία.
- 2<sup>η</sup> Μέθοδος: Over the Air Activation (οTAA). Μια τερματική συσκευή εκτελεί μια διαδικασία σύνδεσης, για σύνδεση σε δίκτυο LoRaWAN και ανταλλαγή πληροφοριών.

Σε αυτή τη διαδικασία, η τερματική συσκευή ανταλλάσσει δυο μηνύματα με τον διακομιστή.

1. Αίτημα σύνδεσης
2. Αποδοχή σύνδεσης.

Κατά τη διαδικασία σύνδεσης, εκχωρείται σε μια τερματική συσκευή μια δυναμική διεύθυνση συσκευής (DevAddr).

Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται κάθε φορά που η τερματική συσκευή χάνει τη σύνδεση. Με αυτόν τον τρόπο η τερματική συσκευή μπορεί να συνδεθεί με πολλά Gateway κάτι που είναι απαραίτητο όταν υπάρχει κίνηση.



**Εικόνα 4.2** Οι βασικές συσκευές που απαρτίζεται ένα δίκτυο LoRaWAN και Τοπολογία αστεριού που το υλοποιεί [25]

## 4.2 Κλάσεις συσκευών LoRaWAN

Οι προδιαγραφές της LoRaWAN Alliance ορίζουν τρεις κλάσεις για μια τερματική συσκευή. Αυτές οι κλάσεις έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, έτσι ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες εφαρμογές. Όσο αυξάνεται η κλάση, τόσο μειώνεται η διάρκεια ζωής της μπαταρίας της τερματικής συσκευής, αλλά και τόσο αυξάνεται ο ρυθμός της κατερχομένης ζεύξης του δικτύου. Με βάση τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής, μια τερματική συσκευή μπορεί να εναλλάσσεται μεταξύ των κλάσεων. Όλες οι τερματικές συσκευές πρέπει να υποστηρίζουν την κλάση A, ενώ αν υποστηρίζουν την κλάση B τότε υποστηρίζουν και την κλάση A. Το ίδιο ισχύει αν υποστηρίζουν την κλάση C, οπότε θα υποστηρίζουν και τις άλλες δύο κλάσεις.

### 4.21 Κλάση A

Οι τερματικές συσκευές που υποστηρίζουν την κλάση A, βρίσκονται σχεδόν μόνιμα σε κατάσταση αδράνειας. Σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα στέλνουν στο δίκτυο τις μετρήσεις που έχουν συλλέξει. Επίσης οι τερματικές συσκευές ενεργοποιούνται όταν καταλάβουν κάποια μεταβολή στο περιβάλλον τους. Η επικοινωνία μπορεί να ξεκινήσει μόνο από την τελική συσκευή. Μετά από κάθε φάση ανερχόμενης ζεύξης, υπάρχουν δύο παράθυρα κατερχόμενης ζεύξης RX1 και RX2 για λήψη δεδομένων από το δίκτυο με καθυστέρηση ενός δευτερολέπτου για το καθένα περίπου. Αν δε λάβει και στη δεύτερη περίπτωση καμία απάντηση από το δίκτυο, η τερματική συσκευή «κοιμάται» πάλι.

### 4.22 Κλάση B

Η κλάση B αποτελεί μια βελτίωση της κλάσης A, εφόσον έχει όλες τις δυνατότητες της κλάσης A αλλά και βελτιώνει την επικοινωνία δικτύου – τερματικής συσκευής. Συγκεκριμένα, μέσω ενός σήματος συγχρονισμού από το Gateway είναι γνωστές οι χρονικές στιγμές που η τερματική συσκευή μπορεί να δεχθεί από το δίκτυο μια πληροφορία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως οι χρονικές στιγμές αυτές είναι πολύ μικρές και για να μην υπάρχει αποτυχία στην προσπάθεια επικοινωνίας της τερματικής συσκευής με το δίκτυο, χρειάζεται να είναι απόλυτα συγχρονισμένες με το δίκτυο. Και σε αυτή την κλάση, η

τερματική συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση ύπνου (sleep mode) κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

### 4.23 Κλάση C

Σε αυτή την κλάση οι τερματικές συσκευές δε βρίσκονται ποτέ σε λειτουργία ύπνου (sleep mode), όπως στις δυο προηγούμενες κλάσεις. Οι τερματικές συσκευές είναι κάθε χρονική στιγμή έτοιμες να κάνουν λήψη κάποιας πληροφορίας από το δίκτυο, με το μόνο περιορισμό εκείνη τη στιγμή να μη βρίσκονται σε διαδικασία μετάδοσης σήματος. Αυτό βεβαίως έχει σαν αποτέλεσμα, οι τερματικές συσκευές να καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια σε σχέση με τις άλλες δυο κλάσεις. Είναι σχεδόν αδύνατο να τροφοδοτούνται από μπαταρίες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Βέβαια, αυτές οι συσκευές λόγω του ότι δεν είναι ποτέ σε κατάσταση αδράνειας, είναι πολύ πιο γρήγορες στη μετάδοση και στη λήψη πληροφορίας από και προς το δίκτυο.

## 5 Εφαρμογή LoRa

### 5.1 Εισαγωγή

Στόχος της διπλωματικής εργασίας ήταν αρχικά να παρουσιάσει τις διάφορες τεχνολογίες ασύρματης επικοινωνίας που υπάρχουν στο δίκτυο των πραγμάτων (IoT). Συγκεκριμένα, δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις τεχνολογίες που ανήκουν στην κατηγορία LPWAN. Τελικός σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας, ήταν να κατασκευαστεί μια εφαρμογή βασισμένη στην τεχνολογία LoRa.

Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια, η τεχνολογία LoRa βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς. Έτσι, χρειάστηκε να επιλέξουμε μια εφαρμογή που θα δίνει λύση σε ένα πρόβλημα, που απασχολεί μεγάλη μερίδα του πληθυσμού. Αποφασίσαμε να κάνουμε μια εφαρμογή που θα βοηθήσει τους ανθρώπους που ασχολούνται με τον πρωτογενή τομέα, συγκεκριμένα με τη γεωργία, να εξελιχτούν και να βελτιώσουν την ποσότητα και την ποιότητα της σοδιάς τους.

### 5.2 Περιγραφή προβλήματος

Ο πρωτογενής τομέας για την Ελλάδα και συγκεκριμένα η γεωργία, είναι στρατηγικής σημασίας. Μεγάλη μερίδα του πληθυσμού της Ελλάδος, ασχολείται με τη γεωργία η οποία αποτελεί πηγή εσόδων για την οικογένειά τους. Η γεωργία είναι μια δουλειά που είναι εκτεθειμένη στις καιρικές συνθήκες και πολλές φορές οι καλλιέργειες μπορεί να υποστούν μεγάλη ζημία από τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Αυτός είναι ένας παράγοντας που ο άνθρωπος δε μπορεί να επέμβει ολοκληρωτικά. Από την άλλη μεριά όμως, πολλές φορές η κακή ποιότητα της σοδιάς αλλά και η ανεπαρκής ποσότητα οφείλεται σε ανθρώπινο λάθος. Η τεχνολογία έχει εξελιχτεί και η αγροτική εργασία με τη βοήθεια των αγροτικών μηχανημάτων, έχει γίνει πιο εύκολη με αποτέλεσμα οι αγρότες να μπορούν να καλλιεργούν μεγαλύτερες εκτάσεις σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια. Αυτό όμως που μπορεί να φέρει βέλτιστα αποτελέσματα όσον αφορά την καλλιέργεια, είναι η συνεχής παρακολούθηση κάποιων τιμών, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία εδάφους. Μετρήσεις που έχουν καθοριστικό ρόλο, αποτελούν σηματοδότες για την κατάλληλη στιγμή συγκομιδής αλλά και ποτίσματος της καλλιέργειας. Στις μέρες μας, με τη βοήθεια των διάφορων τεχνολογιών που

έχουν αναπτυχθεί, το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να λυθεί. Έτσι, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας δημιουργήθηκε μια εφαρμογή βασισμένη στην τεχνολογία LoRa που αντιμετωπίζει το παραπάνω πρόβλημα. Δημιουργήθηκαν δυο τερματικές συσκευές με δυνατότητα τοποθέτησης και περισσότερων συσκευών, οι οποίες φέρουν πάνω τους αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας τους εδάφους. Οι τερματικές συσκευές μπορούν να τοποθετηθούν σε όποιο σημείο της αγροτικής έκτασης θέλουμε καθώς έχουν τη δυνατότητα να τροφοδοτούνται όχι μόνο από εναλλασσόμενο ρεύμα αλλά και από μπαταρία. Ο μόνος περιορισμός που αφορά την απόσταση, είναι να μην απέχουν πάνω από 10 km από την κεντρική συσκευή. Κύρια λειτουργία τους είναι να συλλέγουν τα δεδομένα και να τα αποστέλλουν σε μια κεντρική συσκευή. Η κεντρική συσκευή θα έχει θέση Gateway καθώς είναι αυτή που μεταβιβάζει τα δεδομένα στο διαδίκτυο. Τα αποτελέσματα είναι ορατά από οποιαδήποτε «έξυπνη» συσκευή έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Έτσι, ο χρήστης θα μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα όποια στιγμή θέλει. Μια ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης εφαρμογής, αποτελεί η αμφίδρομη επικοινωνία που θα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ενεργοποιεί κάποιον μηχανισμό. Ένας τέτοιος μηχανισμός μπορεί να είναι ένα σύστημα ποτίσματος ή ένας ανεμιστήρας που βρίσκεται μέσα σε θερμοκήπιο, για την επίτευξη της κατάλληλης τιμής της υγρασίας. Την εντολή αυτή μπορεί να τη δώσει ο χρήστης τόσο από την κεντρική συσκευή όσο και από την «έξυπνη» συσκευή, που έχει στη διάθεση του από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Η εφαρμογή αυτή έχει τη δυνατότητα να τροποποιηθεί αλλάζοντας μόνο τους αισθητήρες και να δώσει λύσεις σε άλλα προβλήματα που απασχολούν διαφορετικούς τομείς και έχουν παρόμοιες απαιτήσεις.

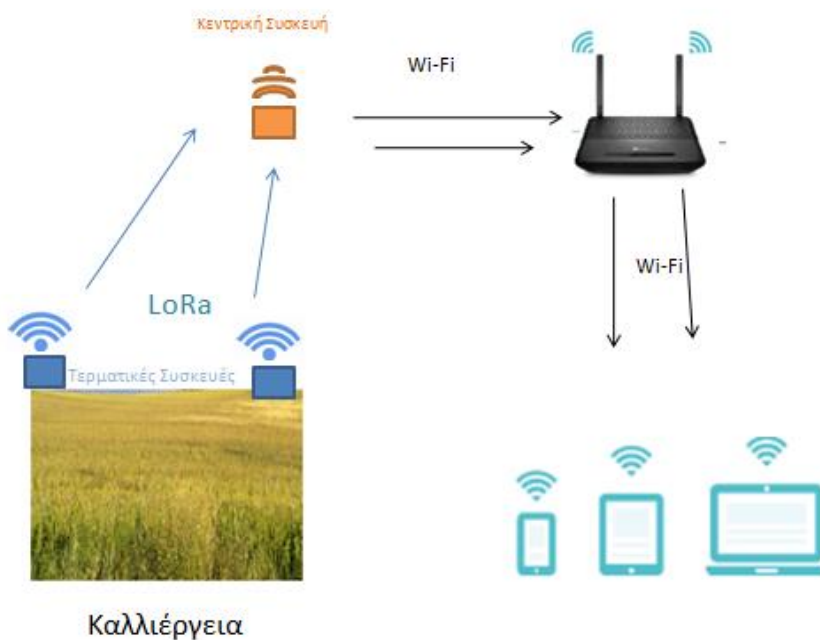
Κυρία χαρακτηριστικά της εφαρμογής:

1. **Μεγάλη εμβέλεια:** Όπως έγινε αναφορά και παραπάνω, οι τερματικές συσκευές θα τοποθετηθούν σε μια αγροτική καλλιέργεια. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, οι αποστάσεις συνήθως να είναι κάποια χιλιόμετρα.
2. **Χαμηλή κατανάλωση:** Πολλές φορές μια καλλιέργεια βρίσκεται απομακρυσμένη, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα τροφοδοσίας από το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι οι συσκευές τροφοδοτούνται από μπαταρία. Οι συσκευές χρειάζεται να καταναλώνουν μικρή ενέργεια κατά την αποστολή και

λήψη δεδομένων, έτσι ώστε η διάρκεια ζωής της μπαταρίας να είναι όσο μεγαλύτερη γίνεται.

3. **Μεταφορά δεδομένων:** Τα δεδομένα που αποστέλλονται από τους διάφορους αισθητήρες που φέρουν οι απομακρυσμένες συσκευές, είναι μικρού μεγέθους.
4. **Κόστος:** Οι τερματικές συσκευές θα είναι εκτεθειμένες στις διάφορες καιρικές συνθήκες. Παρά τα μέτρα ασφάλειας, πάντα ελλοχεύει ο κίνδυνος κάποια να υποστεί βλάβη. Επομένως, χρειάζεται να έχουν μικρό κόστος, έτσι ώστε να είναι εφικτή η άμεση αντικατάσταση τους. Επίσης, για τις ανάγκες του προβλήματος ίσως χρειαστεί να τοποθετηθούν αρκετές συσκευές για τη συλλογή περισσότερων δεδομένων και τη διεξαγωγή σωστών συμπερασμάτων.
5. **Χρόνος:** Τα χρονικά διαστήματα που παίρνουμε μετρήσεις δε χρειάζεται να είναι πολύ πυκνά, καθώς οι μετρήσεις που κάνουμε δεν αλλάζουν δραματικά από ώρα σε ώρα.

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να καλυφτούν με τη χρήση της τεχνολογίας LoRa, την τεχνολογία δηλαδή που εφαρμόσαμε για την υλοποίηση της παραπάνω εφαρμογής.



Εικόνα 5.1 Διάταξη εφαρμογής καθώς και οι βασικές συσκευές που το αποτελούν.

## 5.3 Επιλογή Hardware

Σε αυτήν την ενότητα θα γίνει ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών των μικροελεγκτών και των αισθητήρων που χρησιμοποιήσαμε για τη δημιουργία τόσο της τερματικής συσκευής όσο και της κεντρικής συσκευής.

### 5.31 Κεντρική Συσκευή

Η κεντρική συσκευή αποτελείται από τα εξής υλικά:

- ESP32-S

Το ESP32-S είναι ο μικροελεγκτής της κεντρικής συσκευής.



**Εικόνα 5.2 ESP32-S Ο μικροελεγκτής που απαρτίζει την τελική και την κεντρική συσκευή.**

#### **Χαρακτηριστικά:**

Ο πυρήνας αυτού του μικροελεγκτή είναι το τσιπ ESP32, έχει δυο πυρήνες (CPU) και η συχνότητα ρολογιού είναι ρυθμιζόμενη (80 MHz – 240MHz). Η μονάδα έχει Wi-Fi, το κλασικό Bluetooth και το Bluetooth χαμηλής ενέργειας.

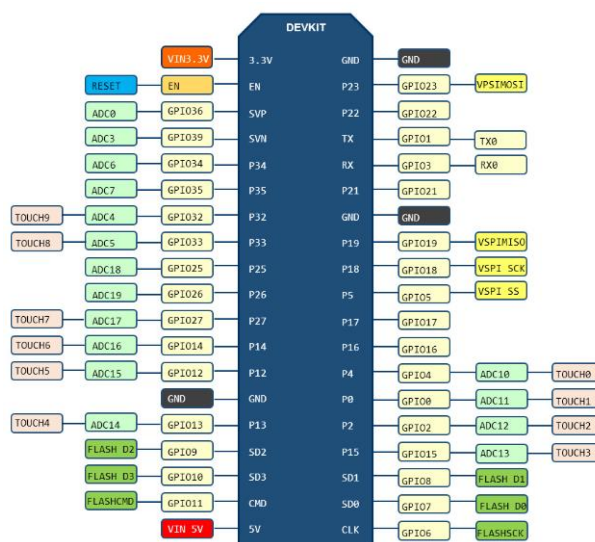
Το Wi-Fi υποστηρίζει σύνδεση στο διαδίκτυο, το Bluetooth είναι κατάλληλο για σύνδεση με smart συσκευή ενώ το Bluetooth χαμηλής ενέργειας χρησιμοποιείται για την ανίχνευση σημάτων.

Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων φτάνει έως 150Mbps και η κεραία έχει τιμή ισχύος 20dBm για βέλτιστη ασύρματη επικοινωνία.

### Επιπλέον Χαρακτηριστικά

- Μονάδα WIFI: ESP-WROOM-32
- Επεξεργαστής: ESP32-D0WDQ6
- Ενσωματωμένο Flash: 32 Mbit
- Κεραία: Ενσωματωμένη κεραία PCB
- Περιφερειακή διεπαφή: UART/GPIO/ADC/DAC/SDIO/PWM/I2C/I2S
- Πρωτόκολλο WiFi: IEEE 802.11 b/g/n
- Bluetooth: Bluetooth 4.2
- Εύρος συχνοτήτων: 2,4G ~ 2,5G (2400M ~ 2483,5M)
- Λειτουργία WIFI: Σταθμός / SoftAP / SoftAP+Station
- Τροφοδοσία: 5V
- Λογικό επίπεδο: 3,3V
- Διαστάσεις: 48,26x25,4mm

Ο μικροελεγκτής έχει 38 pins όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 5.3 Pins ESP32-S (Βασικού μικροελεγκτή)



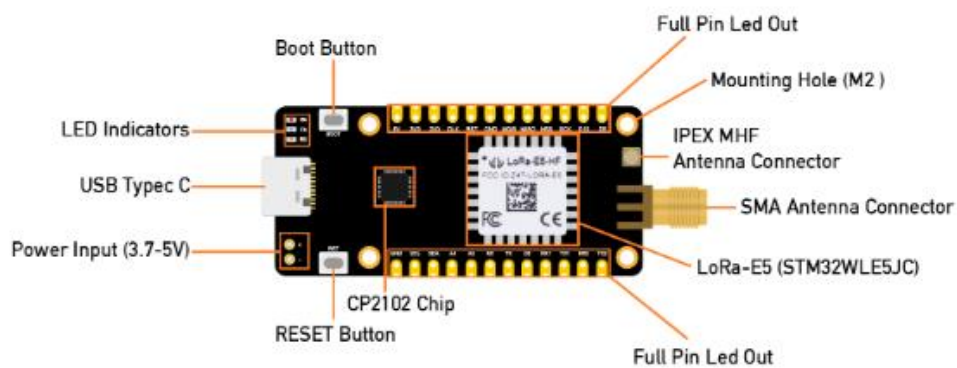
- Wio-E5 mini (STM32WLE5JC)

Το Wio-E5 mini είναι μια πλακέτα μικρού μεγέθους κατάλληλη για εφαρμογές που βασίζονται στην τεχνολογία LoRa. Έχει μέγιστη εμβέλεια 10km σε ανοιχτό χώρο, χαμηλή κατανάλωση και διαθέτει διεπαφές όπως UART, ADC, SPI, I2C. Διαθέτει τον πυρήνα ARM Cortex-M4 και την συσκευή Semtech SX126X Long Range.

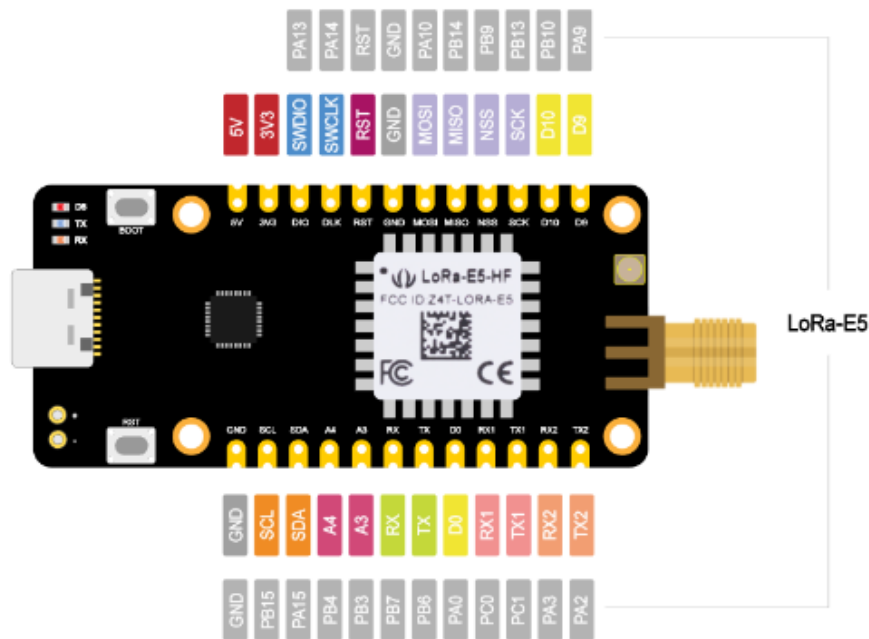
#### Χαρακτηριστικά Lora-E5 (STM32WLE5JC)

Πυρήνας	32-bit Arm Cortex-M4, 48 MHz
Διαστάσεις	12*12, 28 pins
Διεπαφές	UART(3), I2C (1), ADC 12-BIT (1), GPIO (6)
Ευσαιθησία	-116.5dBm(SF5), -121.5dBm(SF7), -136dBm(SF12)
Διαμόρφωση	LoRa, (G)FSK,(G)MSK, BPSK
Συχνότητα	EU 868 / US 915
Τάση	1,8V- 3.6V
RF Ενέργεια	20.8 dBm (3.3V)

**Εικόνα 5.4 Χαρακτηριστικά Συσκευής Lora-E5 (υπεύθυνη για την επικοινωνία LoRa)**



**Εικόνα 5.5 WIO E5- MINI Συσκευή που είναι υπεύθυνη για την ασύρματη επικοινωνία LoRa [28]**



**Εικόνα 5.6 PinOut LoRa E5-mini [28]**

### Τρόποι σύνδεσης:

Το Wio-E5 mini (STM32WLE5JC) έχει τρεις τρόπους σύνδεσης και επικοινωνίας που παρουσιάζονται παρακάτω.

#### 1) Εντολές AT

Μπορεί ο χρήστης να συνδέσει το E5-mini κατευθείαν με τον υπολογιστή του. Με μια ενσωματωμένη λειτουργία USB σε UART (το USB χρειάζεται να είναι type C) και μέσα από μια πληθώρα εντολών AT, δίνεται η δυνατότητα μέσω τερματικού να διαβάσει διάφορα δεδομένα.

#### 2) Σύνδεση του Wio-E5 mini με έναν άλλο μικροελεγκτή (μέσω αυτού AT εντολές).

Μπορεί ο χρήστης για παράδειγμα, να συνδέσει το Wio-E5 mini με το ESP32 ή οποιονδήποτε άλλον μικροελεγκτή και να στείλει μέσω αυτού AT εντολές. Έτσι, ο μικροελεγκτής θα διαχειρίζεται το Wio-E5 mini που θα λειτουργεί απλά σαν πομπός ή σα δέκτης

### 3) Αυτόνομη λειτουργία με χρήση SDK

Αυτή η επιλογή δίνει τη δυνατότητα στον Wio-E5 mini να λειτουργεί αυτόνομα, χρησιμοποιώντας τον προγραμματιστή STM32Cube, που είναι το software development kit (SDK) που δημιουργήθηκε από την STMicroelectronics.

Το Wio-E5 mini είναι ιδανικό για εφαρμογές που ανήκουν στην κατηγορία έξυπνη γεωργία, έξυπνη πόλη και βιομηχανία, καθώς με αυτό μπορούν να δημιουργηθούν εφαρμογές IoT μεγάλης εμβέλειας και μικρής κατανάλωσης ενέργειας.

- Led & Buttons

Στην κεντρική συσκευή υπάρχουν επίσης δυο led και τέσσερα κουμπιά που χρησιμοποιήθηκαν για την αμφίδρομη επικοινωνία. Τα κουμπιά υπάρχουν για να ανάψουν τα led που βρίσκονται στις απομακρυσμένες συσκευές και τα led στην κεντρική συσκευή υπάρχουν ως οπτική ένδειξη για το τι συμβαίνει στις απομακρυσμένες συσκευές.

### 5.32 Απομακρυσμένες συσκευές

Η κάθε μια από τις απομακρυσμένες συσκευές χρειάζεται για να υλοποιηθεί τα εξής.

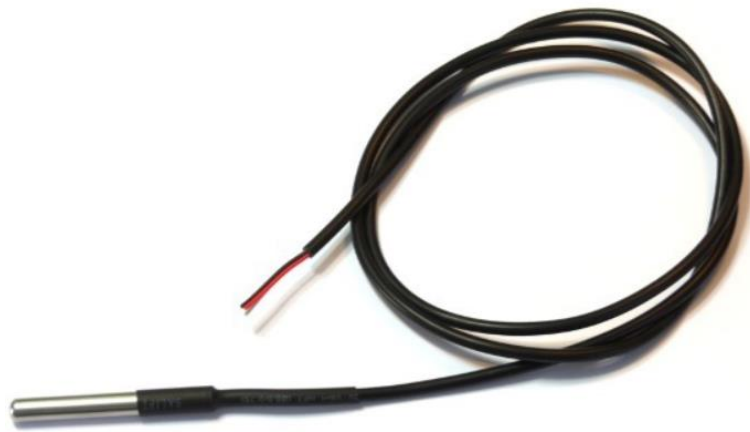
- ESP32-S
- Wio-E5 mini (STM32WLE5JC)
- Αισθητήρες

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή του ESP-32S καθώς και το Wio-E5 mini (STM32WLE5JC) παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Αισθητήρες

- Αισθητήρας θερμοκρασίας (DS18B20)

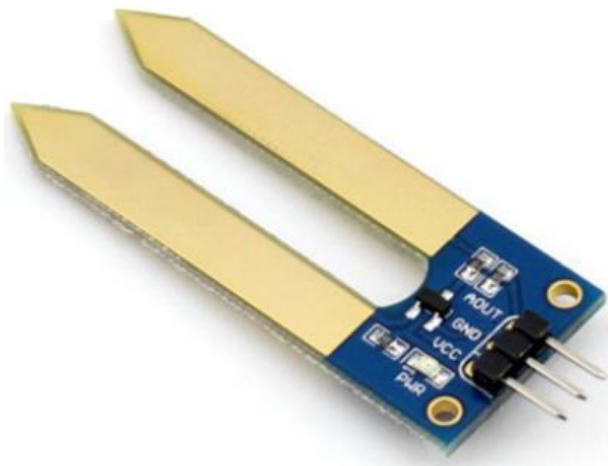
Πρόκειται για έναν αδιάβροχο αισθητήρα με μία ψηφιακή έξοδο 1-Wire της εταιρίας Dallas. Η τιμές για την ένδειξη της θερμοκρασίας κυμαίνονται από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $+125^{\circ}\text{C}$  με ανάλυση 9-12 bits, η ακρίβεια στις μετρήσεις είναι  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Η τροφοδοσία του παίρνει τιμές μεταξύ του 3.0V έως 5.5V και ένταση ρεύματος 1,5mA.



**Εικόνα 5.7** Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 τερματικής συσκευής.

- Waveshare Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους

Ο Waveshare χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της υγρασίας του εδάφους, είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να μπορεί να εισχωρήσει εύκολα στο έδαφος. Αποτελείται από τρεις ακροδέκτες GND, VCC και AOUT. Η διασύνδεση γίνεται αναλογικά και τροφοδοτείται από 3.3 V έως και 5 V.



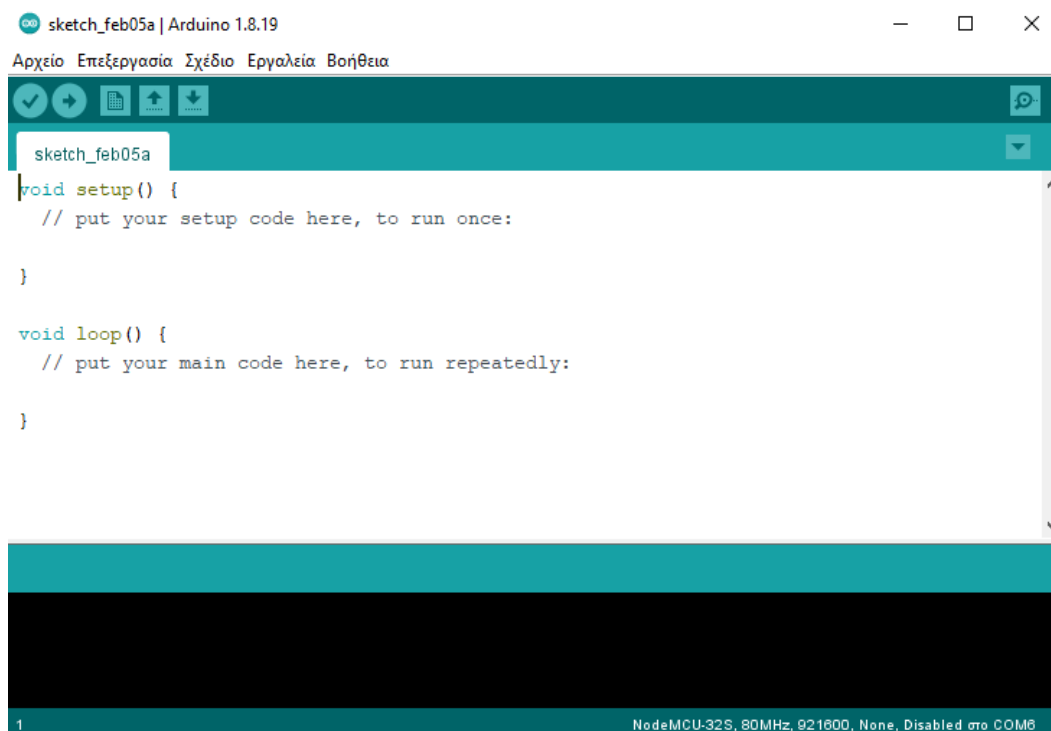
**Εικόνα 5.8** WaveShare Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους τερματικής συσκευής

## 5.4 Επιλογή Software

Ο μικροελεγκτής που είναι υπεύθυνος για την ορθή λειτουργία τόσο των τερματικών όσο και της κεντρικής συσκευής είναι ο ESP32-S. Ο προγραμματισμός του ESP32-S γίνεται σε προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE, έτσι δίνεται η δυνατότητα στον μικροελεγκτή να διαχειρίζεται όλους τις αισθητήρες που φέρουν οι τελικές συσκευές καθώς και τα δεδομένα τα οποία παράγονται αλλά και τις μονάδες LoRa (Wio E5- mini).

### 5.42 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE

Το προγραμματιστικό περιβάλλον IDE του Arduino, είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που δημιουργήθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού JAVA και χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία κώδικα και τη μεταφόρτωση αυτού σε πλακέτες Arduino. Η εφαρμογή υποστηρίζεται από τα λειτουργικά συστήματα Windows, Linux και Mac OS X. Υποστηρίζει γλώσσες προγραμματισμού C και C++. Το πρόγραμμα που γράφεται στο Arduino IDE ονομάζεται sketch (σκίτσο) και αποθηκεύεται με την επέκταση .ino.



Εικόνα 5.9 Προγραμματιστικό περιβάλλον Arduino IDE

Το προγραμματιστικό περιβάλλον διαθέτει επεξεργαστή κειμένου, όπου γράφονται τα σκίτσα καθώς και οθόνη μηνυμάτων η οποία εμφανίζει μηνύματα επιβεβαίωσης. Τα μηνύματα αυτά μπορεί να σχετίζονται με την αποθήκευση, την μεταγλώττιση και το ανέβασμα του κώδικα στην πλακέτα. Στην κάτω πλευρά του παραθύρου εμφανίζεται ο μικροελεγκτής ο οποίος προγραμματίζεται. Επίσης, τα δεδομένα προβάλλονται μέσω της σειριακής κονσόλας.

## 5.42 Arduino IoT Cloud

Το ESP32-S έχει τη δυνατότητα ασύρματης μεταφοράς δεδομένων, καθώς φέρει πάνω του μονάδα Wi-Fi. Με τη βοήθεια του Arduino IoT Cloud, γίνεται πιο εύκολη η ανάγνωση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο από οποιαδήποτε συσκευή η οποία έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο. Ακόμη επιτυγχάνεται και ο απομακρυσμένος έλεγχος των τερματικών συσκευών. Με τα εργαλεία που παρέχει το Arduino IoT Cloud, είναι εύκολο να δημιουργηθεί το κομμάτι κώδικα που υλοποιεί την παραπάνω επικοινωνία. Επίσης διαθέτει ένα όμορφο περιβάλλον και αρκετά επεξεργάσιμο για την προβολή των δεδομένων, που υποστηρίζεται τόσο σε υπολογιστή όσο και σε Smart συσκευή.



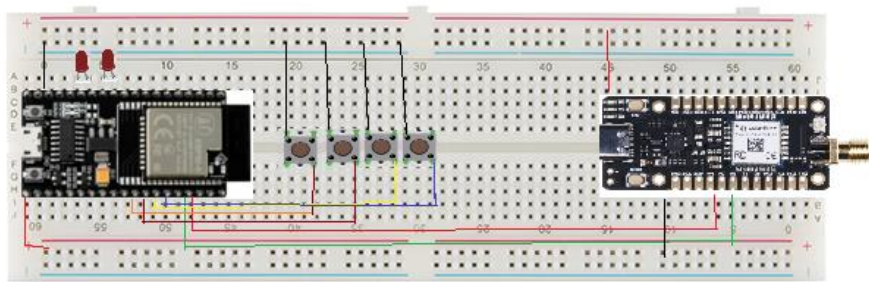
Εικόνα 5.10 Προβολή δεδομένων και απομακρυσμένος έλεγχος Arduino IoT Cloud

## 5.5 Συνδεσμολογία Συσκευών

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται η συνδεσμολογία της κεντρικής και της απομακρυσμένης συσκευής.

### Κεντρική Συσκευή

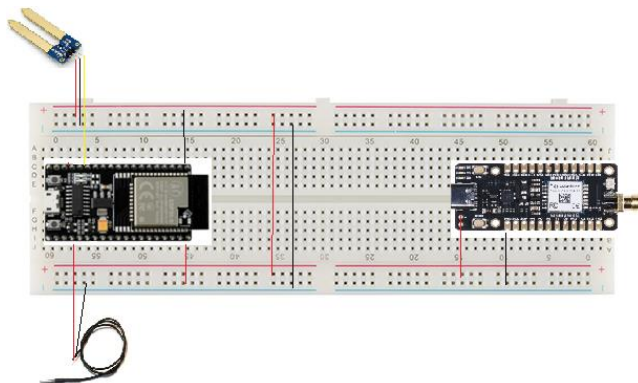
Ο μικροελεγκτής της κεντρικής συσκευής ESP32-S συνδέεται με το Wio E5 mini που αποτελεί το module για την ασύρματη επικοινωνία με τεχνολογία LoRa. Επίσης, η κεντρική συσκευή περιέχει και τέσσερα κουμπιά για τη διαχείριση των leds των απομακρυσμένων συσκευών.



Εικόνα 5.11 Συνδεσμολογία κεντρικής Συσκευής

### Απομακρυσμένη Συσκευή

Ο μικροελεγκτής της απομακρυσμένης συσκευής ESP32-S συνδέεται με το Wio E5 mini έτσι ώστε να επικοινωνεί ασύρματα με την κεντρική συσκευή μέσω της τεχνολογίας LoRa. Η σύνδεση επιτυγχάνεται με δύο καλώδια όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Επίσης, ο μικροελεγκτής (ESP32-S) συνδέεται με δύο αισθητήρες για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας εδάφους.



Εικόνα 5.12 Συνδεσμολογία Απομακρυσμένης Συσκευής

## 5.6 Ρύθμιση συχνότητας και παραμέτρων

Οι κεντρικές συσκευές που φέρουν θέση Gateway, μπορούν να επικοινωνούν με τις απομακρυσμένες συσκευές στα δίκτυα LoRa μέσω πολλών καναλιών που έχουν διαφορετικούς παραμέτρους. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κεντρική συχνότητα που έχει η δίκη μας κεντρική συσκευή καθώς και οι τιμές των παραμέτρων. Για την υλοποίηση της εφαρμογής μας χρησιμοποιήθηκαν οι εντολές AT.

Στέλνοντας την παρακάτω εντολή: AT+TEST=RFCFG

Απάντηση: +TEST: RFCFG F:868000000, SF7, BW125K, TXPR:8, RXPR:8, POW:14dBm, CRC:ON,

Παράμετρος	Τιμή
Fc	868 MHz
SF	7
BW	125 KHz
TXPR	8
RXPR	8
POW	14dBm
CRC	ON

Εικόνα 5.13 Κεντρική Συχνότητα και παραμετροποίηση δικτύου LoRa.

- **Fc (κεντρική συχνότητα)**

Η φέρουσα συχνότητα που επιλέχθηκε για την εφαρμογή ήταν 868 MHz, συχνότητα που προβλέπεται για δίκτυα LoRa στην Ευρώπη. Ωστόσο αξίζει να σημειωθεί πως στην Ελλάδα υπάρχει διαθέσιμη και η συχνότητα 433 MHz.

- **SF( παράγοντας διασποράς)**

Η τιμή 8 αντιστοιχεί σε μεσαία τιμή από αυτές που μπορούμε να επιλέξουμε. Όσο πιο μεγάλη είναι, τόσο πιο μεγάλη εμβέλεια έχει αλλά και τόσο πιο αργή γίνεται η εφαρμογή μας.



- **TXPR και RXPR(Ισχύς μετάδοσης)**

Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή, τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του σήματός. Με αποτέλεσμα να μεγιστοποιείται η εμβέλεια.

- **POW (Ισχύς)**

Η ισχύς μετάδοσης παίρνει τιμή ίση με 14dBm.

- **CRC**

Παίρνει τιμές 0 ή 1 (ON ή OFF), βρίσκεται στο τέλος του μηνύματος και υπάρχει εκεί για να επιβεβαιώσει την ορθή αποστολή και λήψη δεδομένων.

## 5.7 Κώδικας Εφαρμογής

Σε αυτή την ενότητα, γίνεται αναφορά στα σημαντικότερα κομμάτια κώδικα τα οποία υλοποιούν την εφαρμογή. Ο κώδικας που χρησιμοποιείται για τις τελικές συσκευές είναι διαφορετικός από τον κώδικα που έχει η κεντρική συσκευή. Έχει όμως κοινά στοιχεία για την αποστολή και λήψη δεδομένων, αφού χρησιμοποιούν την ίδια μονάδα LoRa (Wio e5-mini). Η εφαρμογή λειτουργεί ως εξής: οι τελικές συσκευές αρχικά βρίσκονται σε κατάσταση αναμονής λειτουργίας και όταν πάρουν κάποια μέτρηση από τους αισθητήρες, την αποθηκεύουν με τη βοήθεια του μικροελεγκτή Esp32-S. Τότε αναλαμβάνει η κεντρική συσκευή και «ρωτάει» με την σειρά τις απομακρυσμένες συσκευές για να συλλέξει τα δεδομένα από αυτές. Η κεντρική συσκευή είναι υπεύθυνη για την αποθήκευση και την εκτύπωση των αποτελεσμάτων. Επίσης, έχει και τον καθαριστικό ρόλο να μεταφέρει τα δεδομένα στο διαδίκτυο τα οποία θα είναι ορατά με τη βοήθεια του Arduino Cloud IoT. Η κεντρική συσκευή μπορεί επίσης να «διατάξει» όποια απομακρυσμένη συσκευή θέλει να ανάψει το led που διαθέτει.

Ο πλήρης κώδικας της κεντρικής συσκευής, των απομακρυσμένων συσκευών και το κομμάτι που αφορά το Arduino IoT Cloud, υπάρχουν αυτούσια στο παράρτημα που βρίσκεται στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

## 5.71 Κώδικας Κεντρικής Συσκευής

Το παρακάτω κομμάτι κώδικα είναι αυτό που είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά δεδομένων από την κεντρική συσκευή προς τις απομακρυσμένες. Για τη μεταφορά δεδομένων έπρεπε η συσκευή Wio-E5 mini να μπει σε λειτουργία AT (mode) και έπειτα να στείλει τις καθορισμένες τιμές για το άναμμα ή όχι του led της εκάστοτε απομακρυσμένης συσκευής.

```
/*
 * 1= Transmit Succeeded
 * 0= Transmit Failed
 */
static int transmitter(int id) {
    send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
    int ledv = 3;
    if (id == 1) ledv = led1v;
    if (id == 2) ledv = led2v;
    sprintf(cmd, "AT+TEST=TXLRSTR,%d\r\n", id, ledv);
    return send_respond("+TEST: TX", 1000, cmd);
}
```

### Εικόνα 5.14 Μεταφορά δεδομένων από Κεντρική σε Τερματική συσκευή.

Έπειτα ακολουθεί το κομμάτι κώδικα καθώς και οι AT εντολές οι οποίες πρέπει να γίνουν έτσι ώστε η κεντρική συσκευή να είναι έτοιμη να λάβει δεδομένα από τις απομακρυσμένες συσκευές.

```
/*
 * 1= Receive Succeeded
 * 0= Receive Failed
 */
static int receiver() {
    send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
    send_respond("+TEST: RXLRPKT", 100, "AT+TEST=RXLRPKT\r\n");
    return send_respond("+TEST: RX", 1000, "");
}
```

### Εικόνα 5.15 Λήψη δεδομένων από Τερματική συσκευή.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα μηνύματα που λαμβάνονται είναι σε μορφή HEX, κάτι που δυσκολεύει την ανάγνωση των μηνυμάτων από το χρήστη. Έτσι έπρεπε να δημιουργηθεί

μια συνάρτηση η οποία θα μετατρέπει τα δεδομένα από τη μορφή HEX στη μορφή ASCII, δηλαδή θα τα κάνει χαρακτήρες. Η συνάρτηση που δημιουργήθηκε για την παραπάνω διαδικασία φαίνεται παρακάτω.

```
static void hex2ascii(char *message) {
    char *p = NULL, data[128]; int i;
    p = strstr(message, "RX");
    if (p==NULL) return;
    if (sscanf(p, "RX \"%s\"", &data)==0) return;
    for (i = 0; i < sizeof(data); i++) {
        if (data[i + 1] == '\\0') break;
        //Serial.print(data[i], HEX);
        //Serial.print(" ");
    }
    Serial.println();
    int j = 0, k = 0;
    while ( j < i) {
        out[k++] = (getValue(data[j++]) << 4) + getValue(data[j++]);
        //Serial.print(out[k], HEX);
        //Serial.print(" ");
    }
    out[i / 2 + 1] = '\\0';
    //Serial.println();
}
```

### Εικόνα 5.16 Μετατροπή δεδομένων από δεκαεξαδικό σε χαρακτήρες

Το παρακάτω μέρος κώδικα αποτελεί το main loop του προγράμματος και είναι αυτό που «ρωτάει» πότε τη μια και πότε την άλλη τερματική συσκευή, έτσι ώστε να λαμβάνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα η κεντρική συσκευή την πληροφορία που θέλουν να μεταφέρουν οι τελικές συσκευές. Ακόμη, με τη βοήθεια της συνάρτησης unBuildJson τυπώνονται τα αποτελέσματα στην κεντρική συσκευή.

Το Json (JavaScript Object Notation) είναι ιδανικό για την ανταλλαγή δεδομένων. Πρόκειται για μια μορφή κειμένου συμβατή με C, C++, Java, JavaScript, και Python.

Επίσης το main loop είναι υπεύθυνο για να ενημερωθούν τα δεδομένα στο Arduino IoT Cloud με την συνάρτηση ArduinoCloud.update();

```

Main Loop
*****/

void loop() {
  ArduinoCloud.update();
  //sled=digitalRead(led1)+ 2*digitalRead(led2);
  sled = led1v + 2 * led2v;
  slaveId = slaveList[idx];

  if (transmitter(slaveId) ) {
    Serial.println("Transmit Succeeded");
    if (receiver()) {
      Serial.println("Receive Succeeded");
      hex2ascii(rec);
      //Serial.println(out);
      unBuildJson(slaveId);
    } else {
      Serial.println("Receive Failed");
    }
  } else {
    Serial.println("Transmit Failed");
  }
  Serial.println("\r\n");
  updateLeds();
  delay(1000);
  idx++;
  idx = idx % 2;
}

/*

```

### Εικόνα 5.17 Βασική συνάρτηση Loop του προγράμματος

Αυτό το κομμάτι κώδικα είναι υπεύθυνο για την προβολή των δεδομένων που έρχονται στην τελική συσκευή. Η εκτύπωση γίνεται στην σειριακή οθόνη.

```

/*****
Print Sensor data
*****/
void printSensorData(long interval) {
  static long past = 0;
  long now = millis();
  if (now - past > interval) {
    past = now;
    Serial.print("sled1= "); Serial.println(sled1);
    Serial.print("templ= "); Serial.println(templ);
    Serial.print("soil1= "); Serial.print(soil1); Serial.println("%");
    Serial.println();
    Serial.print("sled2= "); Serial.println(sled2);
    Serial.print("temp2= "); Serial.println(temp2);
    Serial.print("soil2= "); Serial.print(soil2); Serial.println("%");
  }
}

```

### Εικόνα 5.18 Εκτύπωση δεδομένων στο σειριακό

## 5.72 Κώδικας Απομακρυσμένης Συσκευής

Κύριο μέλημα κατά τη δημιουργία της εφαρμογής ήταν να μπορεί η κεντρική συσκευή να διαχωρίζει τις απομακρυσμένες συσκευές και να έχει αλληλεπίδραση κάθε φορά με την συσκευή που επιθυμεί. Για αυτό τον λόγο ορίστηκε στον κώδικα της απομακρυσμένης συσκευής ένα ID που την διαφοροποιεί από την άλλη.

```
#define SLAVE_ID '1'
```

Η συνάρτηση transmitter() χρησιμοποιεί εντολές AT και με την βοήθεια αυτής αποστέλλονται τα δεδομένα από κάθε απομακρυσμένη συσκευή προς την κεντρική. Τα δεδομένα με τη βοήθεια της εντολής AT+TEST=TXLRSTR αποστέλλονται με τη μορφή String.

```
/*
 * l= Transmit Succeeded
 * 0= Transmit Failed
 */
static int transmitter(){
    send_response("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
    sprintf(cmd, "AT+TEST=TXLRSTR, \"%s\"\r\n", buildJson().c_str());
    return send_response("+TEST: TX", 1000, cmd);
}
```

Εικόνα 5.19 Μεταφορά δεδομένων από τερματική σε κεντρική συσκευή

Η συνάρτηση receiver() χρησιμοποιεί εντολές AT και με τη βοήθεια αυτής γίνεται λήψη των δεδομένων που αποστέλλει η κεντρική συσκευή στις απομακρυσμένες. Τα δεδομένα με τη βοήθεια της εντολής AT+TEST=RXLRPKT μεταφέρονται από τις απομακρυσμένες συσκευές στη κεντρική συσκευή με μορφή HEX.

```
/*
 * l= Receive Succeeded
 * 0= Receive Failed
 */
static int receiver(){
    send_response("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
    send_response("+TEST: RXLRPKT", 100, "AT+TEST=RXLRPKT\r\n");
    return send_response("TEST: RX", 10000, "");
}
```

Εικόνα 5.20 Λήψη δεδομένων από κεντρική συσκευή.

Οι συναρτήσεις transmitter () και receiver() με παρόμοια δομή υπάρχουν και στον κώδικα της κεντρικής συσκευής.

Το παρακάτω κομμάτι κώδικα αποτελεί το main loop της απομακρυσμένης συσκευής. Με τη βοήθεια των συναρτήσεων που το απαρτίζουν είναι υπεύθυνο για τη λήψη δεδομένων από την κύρια συσκευή και τη διαχείρισή τους. Επίσης, είναι υπεύθυνο για την αποστολή δεδομένων από την απομακρυσμένη συσκευή προς την κεντρική συσκευή. Τα δεδομένα που στέλνουμε από την κύρια συσκευή έχουν να κάνουν με το άναμμα του Led που έχει ενσωματωμένο κάθε τερματική συσκευή. Στέλνουμε με τη σειρά πρώτα το χαρακτήρα 'w', μετά το ID της συσκευής στην οποία απευθυνόμαστε και τέλος την τιμή 1 ή 0 που αντιστοιχεί στο ανάμα ή το σβήσιμο του Led. Ο χαρακτήρας 'w' χρησιμοποιήθηκε σαν δικλείδα ασφαλείας για την επιβεβαίωση πως η απομακρυσμένη συσκευή λαμβάνει όλη την πληροφορία. Επίσης, σε αυτό το κομμάτι κώδικα υπάρχει και η συνάρτηση receiver() η οποία είναι υπεύθυνη για τη λήψη της πληροφορίας.

```

/*****
 * Main Loop
 *****/
void loop(void) {
  if(receiver()){
    hex2ascii(rec); delay(500);
    if(out[0]=='w'){
      if(out[1]== SLAVE_ID){
        digitalWrite(led, out[2]-'0');
        Serial.println("Receive Succeeded");
        //counter += 1;
        sensorTemp.requestTemperatures();
        tempC = sensorTemp.getTempCByIndex(0);
        Serial.print(tempC);      Serial.println("°C");
        moistureVal= analogRead(moisturePin);
        Serial.print(moistureVal); Serial.println(" Soil Moisture");
        if(transmitter()){
          Serial.println("Transmit Succeeded");
        }else{
          Serial.println("Transmit Failed");
        }
      }
    }
  }else{
    Serial.println("Receive Failed");
  }
}

```

### Εικόνα 5.21 Βασική επανάληψη τερματικής συσκευής

Το επόμενο κομμάτι κώδικα αφορά τη δημιουργία της Json.

```

/*****
 * Build json from variables
 *****/
static String buildJson() {
    String dat;
    StaticJsonDocument<200> doc;
    doc["sled"] = digitalRead(led);
    doc["soil"] = moistureVal;
    doc["temp"] = tempC;
    serializeJson(doc, dat);
    for(int i=1; i<dat.length()-1; i++){if(dat.charAt(i)=='\n'){dat.setCharAt(i, '$');}}
    //Serial.println(dat);
    return dat;
}

```

### Εικόνα 5.22 Δημιουργία Json

Η παρακάτω συνάρτηση δημιουργήθηκε για τη μετατροπή των HEX σε κώδικα ASCII.

```

static void hex2ascii(char *message) {
    char *p = NULL, data[128]; int i;
    p = strstr(message, "RX");
    if (p==NULL) return;
    if (sscanf(p, "RX \"%s\"", &data)==0) return;
    for (i = 0; i < sizeof(data); i++) {
        if (data[i + 1] == '\0') break;
        //Serial.print(data[i], HEX);
        //Serial.print(" ");
    }
    Serial.println();
    int j = 0, k = 0;
    while ( j < i) {
        out[k++] = (getValue(data[j++]) << 4) + getValue(data[j++]);
        //Serial.print(out[k], HEX);
        //Serial.print(" ");
    }
    out[i / 2 + 1] = '\0';
    //Serial.println();
}

```

### Εικόνα 5.23 Μετατροπή των HEX σε χαρακτήρες ASCII

Η συνάρτηση setup τρέχει μια φορά κατά την έναρξη της συσκευής. Είναι απαραίτητη για τη λειτουργία των αισθητήρων και των led την πρώτη φορά.

```

/*****
 * Setup
 *****/
void setup(void) {
  Serial.begin(9600); delay(1500);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2); delay(1500);
  pinMode(led, OUTPUT); digitalWrite(led, LOW);
  sensorTemp.begin(); // Start the DS18B20 sensor
  pinMode(moisturePin, INPUT);
  send_response("+AT: OK", 100, "AT\r\n");
}

```

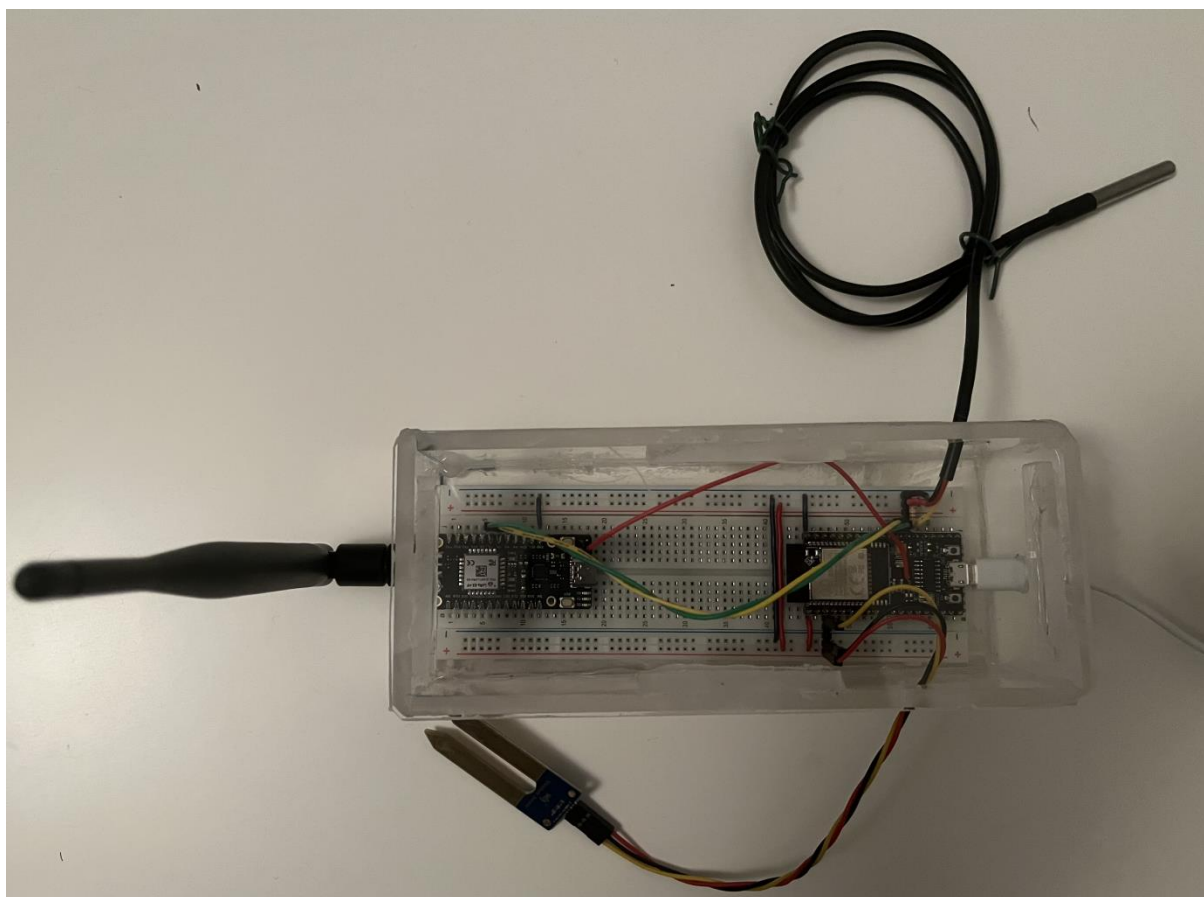
Εικόνα 5.24 Ρυθμίσεις ταχύτητας σειριακής θύρας και αρχικοποίηση αισθητήρων.

## 5.8 Απεικόνιση συσκευών και αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την ενότητα απεικονίζονται οι συσκευές που απαρτίζουν την εφαρμογή μας. Επίσης, γίνεται παρουσίαση των αποτελεσμάτων και τα οποία εμφανίζονται τόσο στην σειριακή οθόνη που είναι συνδεδεμένη στην κεντρική μας συσκευή όσο και μέσα από το Arduino IoT Cloud.

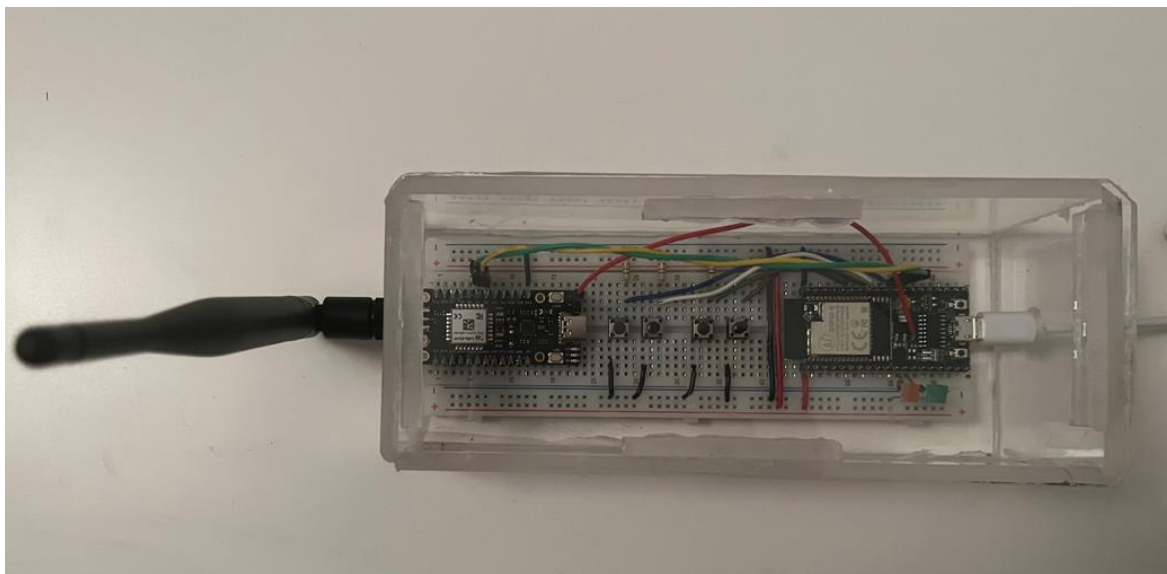
Οι δυο τερματικές συσκευές που έχουμε αποτελούνται από τους ίδιους μικροελεγκτές και φέρουν ακριβώς τους ίδιους αισθητήρες. Επίσης κατασκευάστηκαν από τα ίδια υλικά. Λειτουργούν με τον ίδιο κώδικα με τη μόνη διάφορα ότι η κάθε μια φέρει ένα ξεχωριστό ID.





**Εικόνα 5.25 Απομακρυσμένη συσκευή**

Η κεντρική συσκευή μοιάζει με τις απομακρυσμένες συσκευές απλά δε φέρει αισθητήρες. Επιπλέον έχει τέσσερα κουμπιά που έχουν να κάνουν με το άναμμα και το σβήσιμο του Led που φέρουν οι τελικές συσκευές. Βεβαία, παρόλη την ομοιότητα, λειτουργεί με διαφορετικό κώδικα, καθώς επίσης εκμεταλλεύεται και το module Wi-Fi που φέρει το Esp32-S για τη μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο. Τα δύο επιπλέον led που συνδέσαμε αποτελούν μια ένδειξη για να γνωρίζουμε αν τα led στις απομακρυσμένες συσκευές είναι ανοιχτά ή όχι.



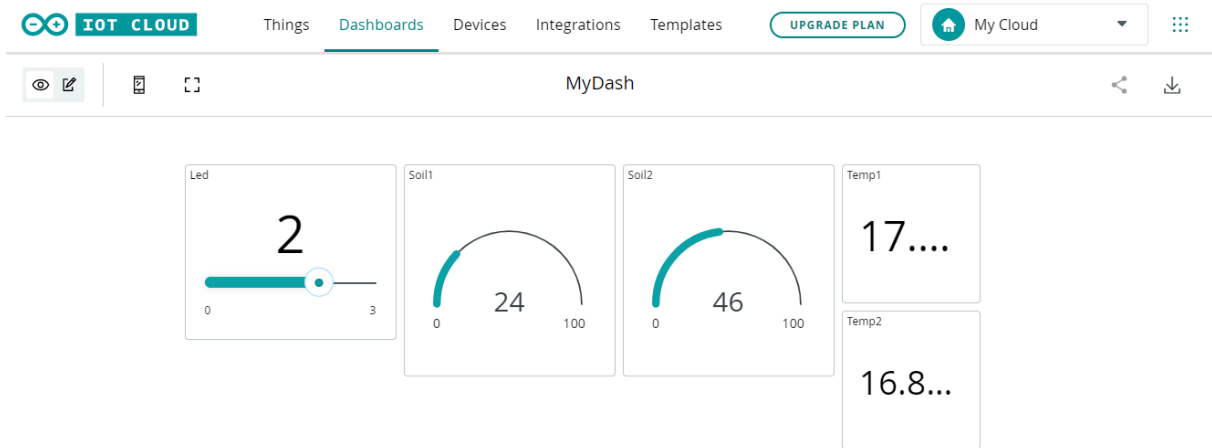
**Εικόνα 5.26 Κεντρική Συσκευή**

Η κεντρική συσκευή μπορεί να συνδεθεί με έναν υπολογιστή και μέσω της σειριακής κονσόλας να γίνει προβολή των αποτελεσμάτων.

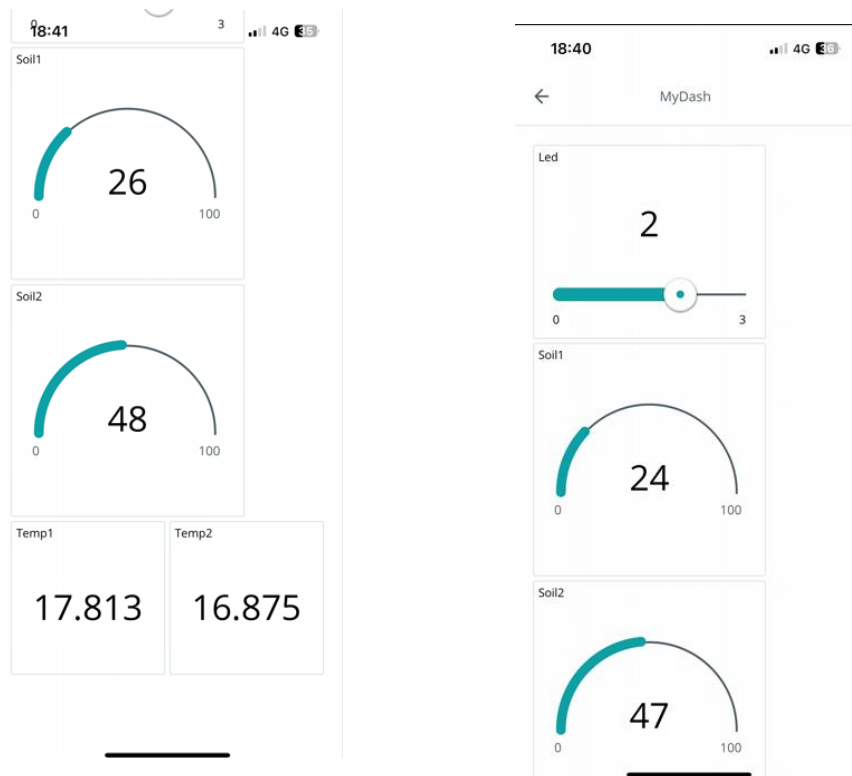
```
COM6  
Transmit Succeeded  
Receive Succeeded  
  
sled1= 1  
temp1= 17.75  
soil1= 24%  
  
sled2= 1  
temp2= 16.87  
soil2= 46%  
  
Transmit Succeeded  
Receive Succeeded
```

**Εικόνα 5.27 Προβολή αποτελεσμάτων μέσω της σειριακής κονσόλας**

Τόσο η προβολή των δεδομένων από τις απομακρυσμένες συσκευές όσο και ο απομακρυσμένος έλεγχος μπορεί να γίνει από οποιαδήποτε συσκευή είναι συνδεδεμένη στο διαδίκτυο.



**Εικόνα 5.28** Προβολή δεδομένων και απομακρυσμένος έλεγχος από τον υπολογιστή μέσω του Arduino Cloud

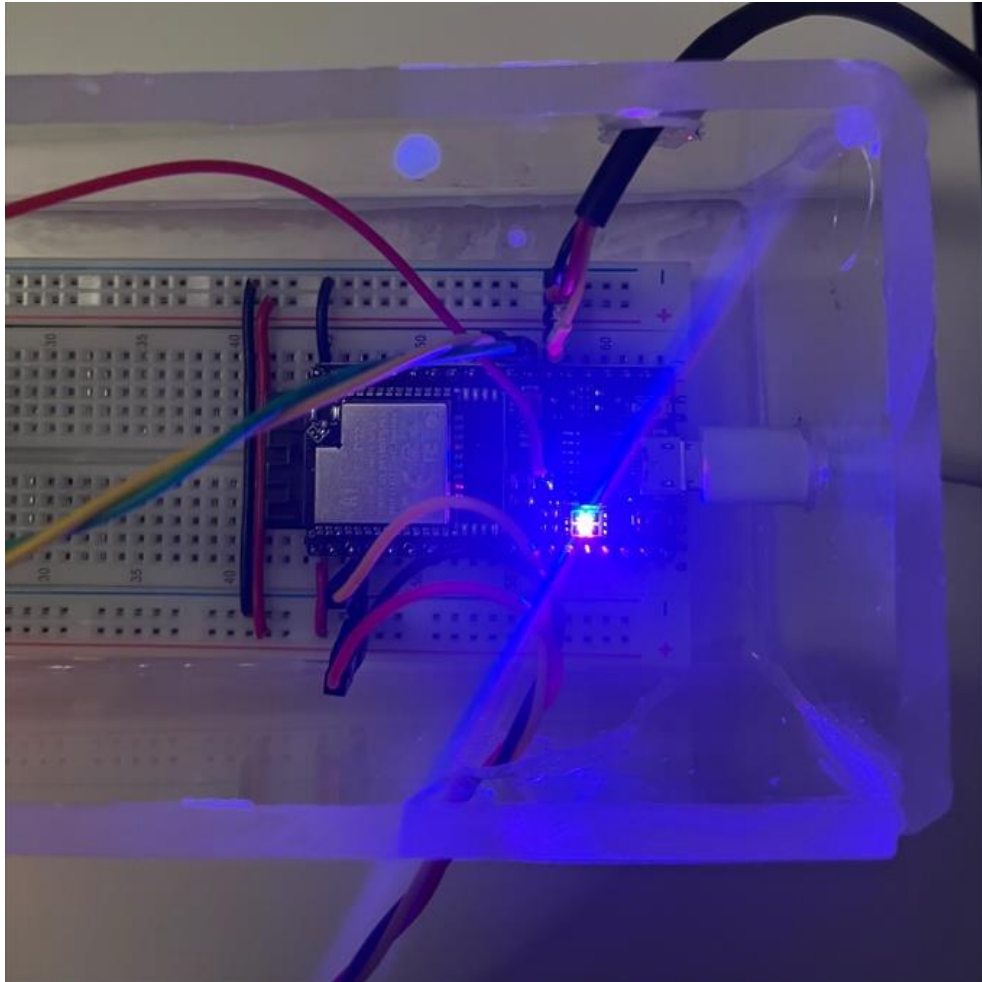


**Εικόνα 5.29** Προβολή δεδομένων και απομακρυσμένος έλεγχος από Smart Συσκευή

Η μπάρα που αφορά τα led παίρνει τιμές από 0 έως 3

- Η τιμή 0 αντιστοιχεί σε σβηστά led και στις δυο απομακρυσμένες συσκευές.
- Η τιμή 1 αντιστοιχεί σε αναμμένο led μόνο της συσκευής με ID:1
- Η τιμή 2 αντιστοιχεί σε αναμμένο led μόνο της συσκευής με ID:2

- Η τιμή 3 αντιστοιχεί σε αναμμένο led και στις δυο απομακρυσμένες συσκευές



Εικόνα 5.30 Αναμμένο Led σε απομακρυσμένη συσκευή

## 6 Συμπεράσματα

Το IoT (Internet of Things) και οι δυνατότητές του αναπτύσσονται με ραγδαίους ρυθμούς. Σε λίγα χρόνια θα αποτελεί βασικό κομμάτι της καθημερινότητας των πολιτών αλλά αισθητή θα είναι και η παρουσία του στον επαγγελματικό τομέα. Αποτελεί λύση για πολλά καθημερινά προβλήματα αλλά βοηθάει και τις επιχειρήσεις να εξελιχθούν, μειώνοντας το κόστος και βελτιστοποιώντας την παράγωγη. Εξερευνώντας τη βιβλιογραφία δεν υπάρχει σαφής ορισμός του τι σημαίνει IoT. Με τον όρο IoT (Internet of Things) περιγράφεται ένα σύστημα μέσα στο οποίο αντικείμενα τα οποία υπάρχουν στον κόσμο θα συνδέονται στο διαδίκτυο και θα παρέχουν πληροφορίες μέσω των διάφορων αισθητήρων που θα φέρουν. Αυτό θα αλλάξει και τη συμπεριφορά των ανθρώπων καθώς, θα διαφοροποιηθεί η επικοινωνία μεταξύ τους. Επίσης, θα υπάρχει και αλληλεπίδραση με συσκευές, κάτι που τα προηγούμενα χρόνια δεν ήταν τόσο έντονο. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν οι πιο δημοφιλείς τεχνολογίες που εφαρμόζονται για ασύρματη επικοινωνία, παρουσιάστηκαν τα χαρακτηριστικά τους, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους, καθώς και οι ιδανικοί τομείς στους οποίους μπορούν να βρουν εφαρμογή.

Ερευνώντας τις εφαρμογές του IoT (Internet of Things), παρουσιάστηκε έντονο ενδιαφέρον για τις εφαρμογές που ανήκουν στην κατηγορία LPWAN. Τα πρωτόκολλα LPWAN είναι σχεδιασμένα για συσκευές που φέρουν πάνω τους αισθητήρες και χρειάζεται να μεταφέρουν τα δεδομένα τους σε μεγάλη εμβέλεια και με μικρή κατανάλωση ενέργειας. Συνήθως η άντληση πληροφοριών από τις συσκευές που απαρτίζουν τέτοιες εφαρμογές δεν χρειάζεται να είναι συνεχής. Τα μεγέθη δεν αλλάζουν δραματικά μέσα σε λίγες ώρες κάτι που ενισχύει την οικονομία όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και καθιστά τις συσκευές ιδανικές στο να τροφοδοτούνται από μπαταρίες.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία δίνεται έμφαση στις τεχνολογίες LPWAN και συγκεκριμένα στη τεχνολογία LoRa, η οποία αποτελεί και βασικό πυλώνα για τη δημιουργία της εφαρμογής που υλοποιήθηκε.

Η τεχνολογία LoRa είναι μια τεχνολογία διαδικτύου που έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό του τη μεγάλη εμβέλεια και τη χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Λειτουργεί σε ζώνες ελευθέρων συχνοτήτων με αποτελεσματικό τρόπο, κάτι που την ξεχωρίζει σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνολογίες LPWAN που μελετήσαμε.

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μπορεί να εφαρμοστεί στον αγροτικό τομέα. Η εφαρμογή είναι κατάλληλη για αυτό τον τομέα βάσει των αισθητήρων που φέρουν οι απομακρυσμένες συσκευές (αισθητήρας υγρασίας εδάφους και θερμοκρασίας ατμόσφαιρας). Η τεχνογνωσία που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή αποτελεί βασικό πυλώνα για τη δημιουργία παραπλήσιων εφαρμογών. Ακόμη και η ίδια η εφαρμογή που υλοποιήθηκε μπορεί εύκολα να βρει αντίκρισμα σε άλλους τομείς. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αλλάζοντας τους αισθητήρες αλλά διατηρώντας ίδια τη διάταξη καθώς και μεγάλο μέρος του κώδικα. Είναι πολύ σημαντικό να διευκρινίσουμε πως η επικοινωνία δεν είναι μόνο από τις απομακρυσμένες συσκευές προς την κεντρική, αλλά και το αντίστροφο (αμφίδρομη επικοινωνία). Συγκεκριμένα, με τα κουμπιά που έχει η κεντρική συσκευή μπορούμε να ανάψουμε τα Led που αντιστοιχούν στις απομακρυσμένες συσκευές. Η διαχείριση των Led των απομακρυσμένων συσκευών αποτελεί επιβεβαίωση της αμφίδρομης επικοινωνίας. Μέσω αυτής θα μπορούσαμε να δίνουμε εντολή σε ένα σύστημα αυτόματου ποτίσματος ή σε έναν ανεμιστήρα για τη μείωση της υγρασίας σε ένα θερμοκήπιο.

Η κεντρική συσκευή που δημιουργήθηκε φέρει θέση Gateway. Έτσι μέσω αυτής τα δεδομένα μεταφέρονται στο διαδίκτυο και ο απομακρυσμένος έλεγχος των τερματικών συσκευών γίνεται εφικτός από συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητα μας.

Για την υλοποίηση των παραπάνω έγινε χρήση της πλατφόρμας Arduino IoT Cloud. Πρόκειται για πλατφόρμα ευχάριστη προς το χρήστη, με όμορφο γραφικό περιβάλλον. Υπάρχει δυνατότητα και λήψης εφαρμογής διαχείρισης του Arduino IoT Cloud που είναι συμβατή με Smart phone.

Η μεγάλη εμβέλεια αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό της εφαρμογής, έτσι δοκιμάστηκε τόσο σε αγροτικές περιοχές όσο και σε αστικό κέντρο.

Η μέγιστη απόσταση επικοινωνίας που επιτεύχθηκε ήταν κοντά στα 8Km σε ανοιχτή αγροτική περιοχή με οπτική επαφή, ενώ σε πυκνή βλάστηση τα αποτελέσματα ήταν κοντά στα 5 Km. Σε αστική περιοχή και συγκεκριμένα στον Εύοσμο, που δεν χαρακτηρίζεται και ως η πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή, η μέγιστη απόσταση έφτανε κοντά στα 3 Km. Αισθητά πιο μειωμένη από τις προηγούμενες δυο περιπτώσεις.

Οι μετρήσεις που λάβαμε από τους αισθητήρες είναι ικανοποιητικές, κάτι που εύκολα βελτιώνεται με την αγορά πιο ποιοτικών υλικών.

Η εφαρμογή που δημιουργήθηκε σίγουρα αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας LoRa. Παρακάτω παραθέτονται κάποιες ιδέες που αποτελούν μελλοντικές βελτιώσεις της εφαρμογής.

### **Βελτιώσεις**

- **Κατασκευή:** Το μεγαλύτερο ποσοστό των συσκευών που απαρτίζουν τέτοιου είδους εφαρμογές είναι εκτεθειμένες στις καιρικές συνθήκες. Επομένως η δημιουργία μιας ανθεκτικής και μονωμένης κατασκευής αποτελεί μονόδρομο.
- **Αισθητήρες:** Ανάλογα με τον τομέα διαφοροποιούνται και οι απαιτήσεις των μετρήσεων. Έτσι, για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι προτιμότερη η χρήση ποιοτικότερων αισθητήρων.
- **Οθόνη:** Η τοποθέτηση οθόνης στην κεντρική συσκευή αποτελεί βελτίωση της εφαρμογής. Είναι απαραίτητη για την προβολή των δεδομένων όταν υπάρχει αδυναμία σύνδεσης στο Arduino Iot Cloud.
- **Εξοικονόμηση Ενέργειας:** Οι απομακρυσμένες συσκευές στην πλειοψηφία των εφαρμογών τροφοδοτούνται από μπαταρία. Έτσι, η δημιουργία ενός μικρού φωτοβολταϊκού πάνελ ενσωματωμένου στην τερματική συσκευή, μπορεί να λειτουργήσει θετικά στη διάρκεια ζωής της μπαταρίας και στην τροφοδοσία της συσκευής. Επίσης, μπορεί να γίνει περαιτέρω έρευνα για τη χρήση ενός πρωτόκολλου LoRaWan που υλοποιεί την τεχνολογία LoRa και μπορεί να συμβάλει στη μείωση της ενέργειας.

## Βιβλιογραφία

- [1] K. Ashton et al., “That ‘internet of things’ thing,” *RFID journal*, 2009.
- [2] Mitish Chitnavis, “That The Expanding Internet of Things (IoT) Creates More Opportunities for Cybercrime” *CXO Today*, 2022
- [3] Yonghua Song, Jin Lin, Shufeng Dong, “An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN”, *Engineering* , 2017,
- [4] ] Kais Mekkia, Eddy Bajica, Frederic Chaxela, Fernand Meyerb, “A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment”, *ICT Express*, 2018
- [5] CRISTINA ALBARRÁN “LPWAN: tímido comienzo, futuro en el aire”, 2018
- [6]IoT.Business.News. (2019). “LPWA market update, China boosts LPWA market development”, 2021
- [7] Abhishek Kumar, Sandeep Gupta, “Study on ZIGBEE Technology”. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY*, 2013
- [8] <https://csa-iot.org>
- [9] ERINA FERRO, FRANCESCO POTORTÌ, “BLUETOOTH AND WI-FI WIRELESS PROTOCOLS: A SURVEY AND A COMPARISON”, 2005
- [10] <https://www.tutorialspoint.com/the-bluetooth-radio-layer>
- [11] Flavio Di Nuzzo, Davide Brunelli, Tommaso Polonelli, Luca Benini, “Monitoring system with Narrowband IoT and MEMS sensors”, *arXiv:2104.13029 v1* 2021
- [12] Y. . E. Wang, X. Lin, A. Adhikary, A. Grovlen, Y. Sui, Y. Blankenship, J. Bergman, and H. S. Razaghi, “A primer on 3gpp narrowband internet of things,” *IEEE Communications Magazine*, 2017
- [13] Collins Burton Mwakwata, Hassan Malik, Muhammad Mahtab Alam, Yannick Le Moullec, Sven Parand, Shahid Mumtaz, “Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From



Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives ” *Sensors (Basel)*, 2019

[14] Sanchez R, “ State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services”, 2016

[15] <https://www.sigfox.gr/>

[16] Raza U., Kulkarni P., Sooriyabandara M. “Low power wide area networks: An overview”, *IEEE J. Commun. Surv. Tuto.*, 2017

[17] Norbahiah Misran, Mohammad Shahidul Islam, Kok Beng Gan, Nowshad Amin “LPWA market update, China boosts LPWA market development,”2019

[18] Dimitris Ziouzos, Minas Dasygenis. “A Smart Bin Implementantion using LoRa,” 2019

[19] RF Wireless World, “SigFox Protocol Stack | LTN | SigFox Protocol Layers”

[20]L. Alliance, “A technical overview of LoRa and LoRaWAN,” *White Paper*, 2019

[21] Taoufik Bouguera, Jean-François Diouris, Jean-Jacques Chaillout, Randa Jaouadi. “Energy Consumption Model for Sensor Nodes Based on LoRa and LoRaWAN”, 2018

[22] V. Talla, M. Hessar, B. Kellogg, A. Najafi, J. Smith, and S. Gollakota, “LoRa Backscatter: Enabling The Vision of Ubiquitous Connectivity,”

[23]M. Knight and B. Seeber, “Decoding LoRa: Realizing a Modern LPWAN with SDR,” *Proceedings of the GNU Radio Conference*, vol. 1, no. 1, 2016.

[24] J. C. Liando, A. Gamage, A. W. Tengourtius, and M. Li, “Known and Unknown Facts of LoRa: Experiences from a LargeScale Measurement Study,” *ACM Trans. Sen. Netw.*, 2019

[25] J. Haxhibeqiri, E. De Poorter, I. Moerman, and J. Hoebeke, “A Survey of LoRaWAN for IoT: From Technology to Application,” *Sensors*, 2018

[26] Muhammad Imam Nashiruddin , Alvin Yusri “SigFox Network Planning for Smart Metering Based on Internet of Things for Dense Urban Scenario”, *8th International Conference on Information and Communication Technology*, 2020

[26] <https://cicicom.gr/pages/lora-wan/>

[27] <https://grobotronics.com>

[28] <https://www.seeedstudio.com>

[29] <https://www.arduino.cc/>

[30] <https://cloud.arduino.cc/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

```
#include <ArduinoJson.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define SLAVE_ID '1' // Change ID

const int oneWireBus = 4; // DS18B20
OneWire oneWire(oneWireBus);//
DallasTemperature sensorTemp(&oneWire);// DS Temp sensor

static int moisturePin= 36;
static int moistureVal= 0;

#define RXD2 16
#define TXD2 17

static char rec[512];
static char cmd[128];
static char out[256];
static int led = LED_BUILTIN;
static float tempC;

/*****
 * Send AT Commands and Wait for Response or Timeout
 * 1= Good Response
 * 0= Bad Response or Timeout
 *****/
static int send_respond(char *response, int timeout, char *command) {
    int idx= 0;
    memset(rec, 0, sizeof(rec));
    Serial2.print(command); // Send command
    //Serial.print(command);
    delay(200);
    int t1 = millis();
    while (true) {
        //read Characters from Lora
        while (Serial2.available() > 0) {
            rec[idx] = Serial2.read();
            //Serial.print(rec[idx]);
            idx++; delay(2);
        }
        if (strstr(rec, response)) {return 1;}
        if (millis() - t1 > timeout) break;//exit forever loop if timeout
    }
}
```

```

//Serial.println();
return 0;
}
//=====
=====
char getValue(char c) {
    char v;
    // from 0 to 9
    if (isdigit(c)){
        v=c-'0';
    }else{
        v=c - 'A' + 10;
    }
    return v;
};
//=====
=====
/*****
    Convert hex data in rec[] to Characters and save to out[]
    *****/
static void hex2ascii(char *message) {
    char *p = NULL, data[128]; int i;
    p = strstr(message, "RX");
    if (p==NULL) return;
    if (sscanf(p, "RX \"%s\"", &data)==0)return;
    for (i = 0; i < sizeof(data); i++) {
        if (data[i + 1] == '\0')break;
    }
    Serial.println();
    int j = 0, k = 0;
    while (j < i) {
        out[k++] = (getValue(data[j++]) << 4) + getValue(data[j++]);
    }
    out[i / 2 + 1] = '\0';
    //Serial.println();
}

/*****
* Build json from variables
*****/
static String buildJson(){
    String dat;
    StaticJsonDocument<200> doc;
    doc["sled"]= digitalRead(led);
    doc["soil"] = moistureVal;
    doc["temp"] = tempC;
    serializeJson(doc, dat);
}

```

```

for(int i=1; i<dat.length()-1; i++){if(dat.charAt(i)=='\"){dat.setCharAt(i, '$);}}
return dat;
}
/*****
* 1= Transmit Succeeded
* 0= Transmit Failed
*****/
static int transmitter(){
send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
sprintf(cmd, "AT+TEST=TXLRSTR, \"%s\" \r\n", buildJson().c_str());
return send_respond("+TEST: TX", 1000, cmd);
}

/*****
* 1= Receive Succeeded
* 0= Receive Failed
*****/
static int receiver(){
send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
send_respond("+TEST: RXLRPKT", 100, "AT+TEST=RXLRPKT\r\n");
return send_respond("TEST: RX", 10000, "");
}

/*****
* Setup
*****/
void setup(void){
Serial.begin(9600); delay(1500);
Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2); delay(1500);
pinMode(led, OUTPUT); digitalWrite(led, LOW);
sensorTemp.begin(); // Start the DS18B20 sensor
pinMode(moisturePin, INPUT);
send_respond("+AT: OK", 100, "AT\r\n");
}

/*****
* Main Loop
*****/
void loop(void){
if(receiver()){
hex2ascii(rec); delay(500);
if(out[0]=='w'){
if(out[1]== SLAVE_ID){
digitalWrite(led, out[2]-'0');
Serial.println("Receive Succeeded");
//counter += 1;
sensorTemp.requestTemperatures();
tempC = sensorTemp.getTempCByIndex(0);
}
}
}
}

```

```
Serial.print(tempC);    Serial.println("°C");
moistureVal= analogRead(moisturePin);
Serial.print(moistureVal); Serial.println(" Soil Moisture");
if(transmitter()){
  Serial.println("Transmit Succeeded");
}else{
  Serial.println("Transmit Failed");
}
}
}
}else{
  Serial.println("Receive Failed");
}
}
```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

### ΚΩΔΙΚΑΣ ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

```
#include <ArduinoJson.h>
#include "arduino_secrets.h"
#include "thingProperties.h"
//=====
=====
static char  rec[512];
static char  cmd[128];
static char  out[256];
static int   led = LED_BUILTIN;
static int   led1 = 14, led1v = 0;
static int   led2 = 12, led2v = 0;
static int   button1L = 5;
static int   button1H = 18;
static int   button2L = 19;
static int   button2H = 21;
static int   slaveList[] = { 1, 2 }, slaveId, idx = 0;

static int   sled1;
static int   sled2;

/*****
  Send AT Command and wait for Response or timeout
  1= Good Response
  0= Bad Response or Timeout
*****/
static int send_respond(char *response, int timeout, char *command) {
  int idx= 0;
  memset(rec, 0, sizeof(rec));
  delay(200);
  int t1 = millis();
  while (true) {
    //read Characters from Lora
    while (Serial2.available() > 0) {
      rec[idx] = Serial2.read();
      //Serial.print(rec[idx]);
      idx++; delay(2);
    }
    if (strstr(rec, response)) {return 1;}
    if (millis() - t1 > timeout) break;//exit forever loop if timeout
  }
  //Serial.println();
  return 0;
}
```

```

//=====
char getValue(char c) {
  char v;
  // from 0 to 9
  if (isdigit(c)){
    v=c-'0';
  }else{
    v=c - 'A' + 10;
  }
  return v;
};
//=====
/*****
  Convert hex data in rec[] to Characters and save to out[]
*****/
static void hex2ascii(char *message) {
  char *p = NULL, data[128]; int i;
  p = strstr(message, "RX");
  if (p==NULL) return;
  if (sscanf(p, "RX \"%s\"", &data)==0)return;
  for (i = 0; i < sizeof(data); i++) {
    if (data[i + 1] == '\0')break;
  }
  Serial.println();
  int j = 0, k = 0;
  while ( j < i) {
    out[k++] = (getValue(data[j++]) << 4) + getValue(data[j++]);
  }
  out[i / 2 + 1] = '\0';
  //Serial.println();
}

/*****
  Print Sensor data
*****/
void printSensorData(long interval) {
  static long past = 0;
  long now = millis();
  if (now - past > interval) {
    past = now;
    Serial.print("sled1= "); Serial.println(sled1);
    Serial.print("temp1= "); Serial.println(temp1);
    Serial.print("soil1= "); Serial.print(soil1); Serial.println("%");
    Serial.println();
    Serial.print("sled2= "); Serial.println(sled2);
    Serial.print("temp2= "); Serial.println(temp2);
    Serial.print("soil2= "); Serial.print(soil2); Serial.println("%");
  }
}

```



```

}
}

/*****
Update Variables from received json
*****/
static void unBuildJson(int id) {
    int i = 0, k = 0;
    char json[256];
    while (out[i]) {
        json[k++] = (out[i] == '$') ? '\"' : out[i]; i++;
    }
    json[k] = '\0';
    // i = 0; while (json[i]){Serial.print((char)json[i++]);}; Serial.println();
    StaticJsonDocument<256> doc;
    DeserializationError error = deserializeJson(doc, json);
    if (error) {
    }
    if (id == 1) {
        sled1 = doc["sled"];
        temp1 = doc["temp"];
        soil1 = map(doc["soil"], 0, 4095, 0, 100);
    } else if (id == 2) {
        sled2 = doc["sled"];
        temp2 = doc["temp"];
        soil2 = map(doc["soil"], 0, 4095, 0, 100);
    }
    printSensorData(10000);
}

/*****
1= Transmit Succeeded
0= Transmit Failed
*****/
static int transmitter(int id) {
    send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
    int ledv = 3;
    if (id == 1) ledv = led1v;
    if (id == 2) ledv = led2v;
    sprintf(cmd, "AT+TEST=TXLRSTR,\"w%1d%1d\"\r\n", id, ledv);
    return send_respond("+TEST: TX", 1000, cmd);
}

```

```

/*****
  1= Receive Succeeded
  0= Receive Failed
*****/
static int receiver() {
  send_respond("+MODE: TEST", 100, "AT+MODE=TEST\r\n");
  send_respond("+TEST: RXLRPKT", 100, "AT+TEST=RXLRPKT\r\n");
  return send_respond("+TEST: RX", 1000, "");
}

/*****

*****/
static void updateLeds() {
  if (digitalRead(button1L) == 0) {
    led1v = 0;
  }
  if (digitalRead(button1H) == 0) {
    led1v = 1;
  }
  if (digitalRead(button2L) == 0) {
    led2v = 0;
  }
  if (digitalRead(button2H) == 0) {
    led2v = 1;
  }
  digitalWrite(led1, led1v);
  digitalWrite(led2, led2v);
}

void setup() {
  sled = 0;
  pinMode(led, OUTPUT); digitalWrite(led, LOW);
  pinMode(led1, OUTPUT); digitalWrite(led1, LOW);
  pinMode(led2, OUTPUT); digitalWrite(led2, LOW);
  pinMode(button1L, INPUT);
  pinMode(button1H, INPUT);
  pinMode(button2L, INPUT);
  pinMode(button2H, INPUT);
  Serial.begin(9600); delay(1500);
  Serial2.begin(9600); delay(1500);
  send_respond("+AT: OK", 100, "AT\r\n");
  digitalWrite(led, LOW);

  initProperties(); // Defined in thingProperties.h
  ArduinoCloud.begin(ArduinoIoTPreferredConnection);

```

```

setDebugMessageLevel(2);
ArduinoCloud.printDebugInfo();
}

/*****
Main Loop
*****/

void loop() {
  ArduinoCloud.update();
  //sled=digitalRead(led1)+ 2*digitalRead(led2);
  sled = led1v + 2 * led2v;
  slaveId = slaveList[idx];

  if (transmitter(slaveId)) {
    if (receiver()) {
      hex2ascii(rec);
      unBuildJson(slaveId);
    } else {
      Serial.println("Receive Failed");
    }
  } else {
    Serial.println("Transmit Failed");
  }
  Serial.println("\r\n");
  updateLeds();
  delay(1000);
  idx++;
  idx = idx % 2;
}

/*
Since Sled is READ_WRITE variable, onSledChange() is
executed every time a new value is received from IoT Cloud.
*/
void onSledChange() {

  if (sled & 1) {
    led1v = 1;
  } else {
    led1v = 0;
  }
  if (sled & 2) {
    led2v = 1;
  } else {
    led2v = 0;
  }
}

```

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΚΩΔΙΚΑΣ ARDUINO CLOUD.

```
#define SECRET_SSID "VODAFONE_H268Q-1817"
```

```
#define SECRET_OPTIONAL_PASS "HbSkAxCCT24e4YkU"
```

```
#define SECRET_DEVICE_KEY "SVQZXTJBGKI7BMKIYMM0"
```

```
// Code generated by Arduino IoT Cloud, DO NOT EDIT.
```

```
#include <ArduinoIoTCloud.h>
```

```
#include <Arduino_ConnectionHandler.h>
```

```
const char DEVICE_LOGIN_NAME[] = "7059ebb6-ad62-4721-9881-6bc8957c792c";
```

```
const char SSID[] = SECRET_SSID; // Network SSID (name)
```

```
const char PASS[] = SECRET_OPTIONAL_PASS; // Network password (use for  
WPA, or use as key for WEP)
```

```
const char DEVICE_KEY[] = SECRET_DEVICE_KEY; // Secret device password
```

```
void onSledChange();
```

```
float temp1;
```

```
float temp2;
```

```
int sled;
```

```
int soil1;
```

```
int soil2;
```

```
void initProperties(){
```

```
    ArduinoCloud.setBoardId(DEVICE_LOGIN_NAME);
```

```
    ArduinoCloud.setSecretDeviceKey(DEVICE_KEY);
```

```
    ArduinoCloud.addProperty(temp1, READ, ON_CHANGE, NULL);
```

```
    ArduinoCloud.addProperty(temp2, READ, ON_CHANGE, NULL);
```

```
ArduinoCloud.addProperty(sled, READWRITE, ON_CHANGE, onSledChange);
ArduinoCloud.addProperty(soil1, READ, ON_CHANGE, NULL);
ArduinoCloud.addProperty(soil2, READ, ON_CHANGE, NULL);

}
```

```
WiFiConnectionHandler ArduinoIoTPreferredConnection(SSID, PASS);
```