



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**  
**Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής &**  
**Τηλεπικοινωνιών**

---

Σχεδίαση και υλοποίηση Πρωτοκόλλου επικοινωνίας και  
εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από Ασύρματο  
Δίκτυο Αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντολογικών  
συνθηκών

---

**Ελληνίδου Σουλτάνα**

**AM:569**

Επιβλέποντες Καθηγητές: Κοντογιάννης Σωτήριος

Ζυγκιρίδης Θεόδωρος

Κοζάνη, Νοέμβριος 2016



**University of Western Macedonia**  
**Department of Informatics &**  
**Telecommunications Engineering**

---

Design and implementation of wireless environmental  
sensors network communication protocol and monitoring  
application

---

**Ellinidou Soutana**  
**AM:569**

Supervisors: Dr. Kontogiannis Sotirios

Assistant Professor Zygiridis Theodoros

Kozani, November 2016

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών

<b>Τίτλος:</b>	Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών
<b>Περιγραφή:</b>	Διπλωματική εργασία στα πλαίσια των σπουδών για την απόκτηση του Διπλώματος που απονέμει το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας με τίτλο «Μηχανικός Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών»
<b>Θέματα / Λέξεις κλειδιά:</b>	Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων, Πληροφοριακά συστήματα, Πρωτόκολλο επικοινωνίας, Internet of Things, Android, Arduino, RF communication, WSN
<b>Δημιουργός:</b>	Ελληνίδου Σουλτάνα
<b>Ημερομηνία δημιουργίας:</b>	30-07-2016
<b>Χρόνος έκδοσης:</b>	2016
<b>Χώρα έκδοσης:</b>	GR
<b>Γλώσσα κειμένου:</b>	Gre

Copyright © Ελληνίδου Σουλτάνα 2016

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία  
εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών  
για την απόκτηση του Διπλώματος  
που απονέμει το

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας με τίτλο

**«Μηχανικός Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών»**

Εγκρίθηκε την .../.../2016 από Εξεταστική Επιτροπή αποτελούμενη από τους :

Όνοματεπώνυμο:

Βαθμίδα:

Υπογραφή:

1.

2.

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται 3 αντικείμενα: τη σχεδίαση και την υλοποίηση ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας, τη δημιουργία ενός δικτύου αισθητήρων καθώς και την ανάπτυξη μίας εφαρμογής για κινητά.

Το πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε ονομάζεται RF-Tania, πρόκειται για ένα έξυπνο, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας πρωτόκολλο, το οποίο βασίζεται σε μία βιβλιοθήκη ανοιχτού λογισμικού. Το πρωτόκολλο RF-Tania αποτελείται από τρία υποπρωτόκολλα το Sensors Data Transmission Protocol (Tania-SDTP), το Ad-Hoc On Demand Protocol (Tania-AHOD) και το Ad-Hoc Alerts Protocol (Tania-AHA), το καθένα χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση διαφορετικών λειτουργιών του δικτύου.

Επιπλέον, σχεδιάστηκε μία νέα αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN) ώστε να δοκιμαστεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας μέσω αυτής. Το συγκεκριμένο δίκτυο αποτελείται από δύο οντότητες: την οντότητα Αισθητήρα (πομπός) και την οντότητα Κινητός Πελάτης (δέκτης). Η οντότητα Αισθητήρα, περιλαμβάνει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, έναν αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα καθώς και έναν αναμεταδότη και είναι υπεύθυνη για μετάδοση των δεδομένων στους Κινητούς Πελάτες. Οι Κινητοί Πελάτες είναι κινητά εξοπλισμένα με αναμεταδότες ώστε να λαμβάνουν δεδομένα αλλά και να μεταδίδουν τα δεδομένα που έλαβαν.

Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας ονομάζεται “Eco-Controller”, είναι μία απλή, φιλική προς τον χρήστη εφαρμογή, μέσω της οποίας μπορεί ο χρήστης να ελέγχει τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας ανά πάσα στιγμή καθώς και να ενημερώνεται σε περίπτωση αισθητηριακής μέτρησης υψηλού επιπέδου. Η συγκεκριμένη εφαρμογή αλληλεπιδρά με τα υπο-πρωτόκολλα Tania-AHOD και Tania-AHA.

Τέλος, παρουσιάζονται μία σειρά από πειράματα που διεξήχθησαν ώστε να αποδειχθεί η επιτυχημένη λειτουργία του προτεινόμενου δικτύου καθώς και του πρωτοκόλλου RF-Tania. Ακόμα, μέσω των πειραμάτων αποδεικνύεται ότι το πρωτόκολλο RF-Tania υπερτερεί από πλευράς εξοικονόμησης ενέργειας σε σχέση με τα πρωτόκολλα RF που χρησιμοποιούν αποστολές περιοδικών δεδομένων εκπομπής.

## Abstract

This thesis deals with the design of a communication protocol, the implementation of a wireless sensors network and the development of a mobile application.

The proposed new protocol for sensors Frequency Shift Keying data transmission named RF-Tania protocol framework. This protocol focuses on Energy Efficiency and it is based on an existent open source protocol stack. Tania protocol framework includes a set of three protocols: The Sensors Data Transmission Protocol (Tania-SDTP), the Ad-Hoc On Demand Protocol (Tania-AHOD) and the Ad- hoc Alerts Protocol (Tania-AHA), each one servicing different user functionalities.

RF-Tania protocol is used on a specific system architecture of a crowded sensors network. Such network is composed of two different types of equipment: The measuring sensor transponders and the Ad-hoc receivers. Sensor transponders are battery operated systems with installed sensors. Ad-hoc receivers are mobile phones equipped with transponders that operate as both sensor output devices as well as sensor data re-transmitters.

The application, that we have developed, named “Eco-Controller”. It is a simple, user-friendly application, through which the users can check the CO<sub>2</sub> and temperature levels at any time. Furthermore, the user will be informed with an alert message in case of he is exposed over high CO<sub>2</sub> level, in order to take the appropriate precautions. This application is linked with the Tania-AHOD and the Tania-AHA sub-protocols.

In the case study, a test bed system architecture for monitoring CO<sub>2</sub> and temperature levels has been used. Also, tests of energy endurance, RF coverage and energy performance have been performed. The evaluation results have proven that RF-Tania protocol outperforms in terms of energy existing RF protocols that use periodic broadcast data transmissions.

**Keywords:** Internet of Things, Wireless Sensor Networks, Android application, Arduino, RF communication

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή Σωτήριο Κοντογιάννη για την εξαιρετική καθοδήγηση του, για την υπομονή του, για τη συνεχή επίβλεψη του και συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου. Ακόμα θα ήθελα να τον ευχαριστήσω που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο ερευνητικό θέμα και για τις 2 δημοσιεύσεις που κάναμε σε επιστημονικά συνέδρια στα πλαίσια αυτής την διπλωματικής εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κοντινούς φίλους που απέκτησα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, για τις όμορφες στιγμές, για τη στήριξη και την άποψη συνεργασία που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω του γονείς μου, τους παππούδες και τις γιαγιάδες μου για την πνευματική και υλική υποστήριξη που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια καθώς και τα 3 μου αδέρφια για όλη την βοήθεια και κατανόηση που μου έδειξαν στα πλαίσια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

## Περιεχόμενα

<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>16</b>
1.1 Εισαγωγικές έννοιες	16
1.1.1 Μικροεπεξεργαστές	16
1.1.2 Ασύρματα δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ)	18
1.1.3 Internet of Things (IoT)	19
1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας	21
1.3 Οργάνωση Κεφαλαίων	22
<b>2. Πρωτόκολλα επικοινωνίας ΑΔΑ</b>	<b>23</b>
2.1 Πρωτόκολλο RF-MAC	23
2.2 Dual-band Wireless Energy Transfer Protocol	23
2.3 Πρωτόκολλο WirelessHART	24
2.4 Πρωτόκολλο SMAC	24
2.5 Πρωτόκολλο Bluetooth Low Energy	25
2.6 Πρωτόκολλο RF4CE	25
2.7 Πρωτόκολλο ZigBee	25
2.8 Πλατφόρμα UWB	25
2.9 Πρωτόκολλο UWB PHY και CSS PHY	26
2.10 Πρωτόκολλο RF-Tania	26
<b>3. Αρχιτεκτονική και Οντότητες δικτύου</b>	<b>27</b>
3.1 Αρχιτεκτονική δικτύου	27
3.2 Εξοπλισμός	28
3.2.1 Αναμεταδότες RF	28
3.2.1.1 RFM12B	28
3.2.2.2 RF69	30
3.2.2.3 RF96	32
3.2.2.4 Συγκρίσεις-Συμπεράσματα	33



3.2.2 Μικροελεγκτής Arduino-Uno	35
3.2.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20	38
3.2.4 Αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα MG-811	39
<b>4. Λογισμικό</b>	<b>41</b>
4.1 Android Studio	41
4.1.1 Χαρακτηριστικά του Android Studio IDE	42
4.1.2 Δημιουργία εφαρμογής	43
4.3 Arduino IDE	46
<b>5. Περιγραφή Πρωτοκόλλου Επικοινωνίας</b>	<b>48</b>
5.1 Φυσικό επίπεδο	49
5.2 Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων	51
5.3 Επίπεδο Δικτύου	53
5.3.1 Υποπρωτόκολλο Tania-SDTP	53
5.3.2 Υποπρωτόκολλο Tania-AHOD	55
5.3.3 Υποπρωτόκολλο Tania-AHA	56
<b>6. Εφαρμογή “Eco-Controller”</b>	<b>59</b>
6.1 Λειτουργία εφαρμογής	59
6.2 Βάση δεδομένων	62
<b>7. Πειραματικό Μέρος</b>	<b>63</b>
7.1 Πειράματα	63
7.2 Μετρήσεις	67
<b>8. Επίλογος</b>	<b>70</b>
8.1 Συμπεράσματα	70
8.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις	71
<b>Βιβλιογραφία</b>	<b>74</b>

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Τμήματα Υλικού Κόμβου WSN	19
Εικόνα 2. Internet of Things (IoT) [4]	20
Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική δικτύου	27
Εικόνα 4. Τσιπ RFM12B [27]	28
Εικόνα 5. RF12B pins	29
Εικόνα 5. Συνδεσμολογία Arduino με RF12B	30
Εικόνα 6. τσιπ RF69 [28]	30
Εικόνα 7. RF69W pins	31
Εικόνα 8. τσιπ RF96 [29]	32
Εικόνα 7. RF69W pins	32
Εικόνα 8. Μικροελεγκτής Arduino-Uno [30]	35
Εικόνα 9. Ακροδέκτες Arduino-Uno	37
Εικόνα 10. Αισθητήρας DS18B20 [36]	38
Εικόνα 11. DS18B20 pins [36]	38
Εικόνα 12. Συνδεσμολογία Αισθητήρα θερμοκρασίας με μικροελεγκτή Arduino Uno	39
Εικόνα 13. Αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα MG811 [37]	39
Εικόνα 14. Συνδεσμολογία Αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα με μικροελεγκτή Arduino Uno	40
Εικόνα 15. Λογότυπο Android Studio	41
Εικόνα 16. Αρχική Οθόνη Android Studio	44
Εικόνα 17. Οθόνη δημιουργίας νέου project.	44
Εικόνα 18. Οθόνη επιλογής συσκευής Android και Minimum SDK	45
Εικόνα 19. Περιβάλλον Android Studio	45
Εικόνα 20. Arduino IDE Αρχική Οθόνη	46
Εικόνα 21. Περιβάλλον Arduino IDE	47
Εικόνα 22. Επίπεδα πρωτοκόλλου RF-Tania	48
Εικόνα 23. Jeelab πλαίσιο	52
Εικόνα 24. RF-Tania πλαίσιο	53
Εικόνα 25. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-SDTP.	55
Εικόνα 26. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-AHOD	56
Εικόνα 27. Επίπεδα Διοξειδίου του άνθρακα	57
Εικόνα 28. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-AHA	58
Εικόνα 29. Εικονίδιο εφαρμογής “Eco-Controller”	59
Εικόνα 30. Μενού εφαρμογών android, Εικόνα 31. Splash οθόνη, Εικόνα 32. Κύριο μενού εφαρμογής	60

<u>Εικόνα 33. User Interface</u>	<u>61</u>
<u>Εικόνα 34. Οθόνη επιλογής γραφήματος, Εικόνα 35. Οθόνη καθημερινού γραφήματος θερμοκρασίας</u>	<u>62</u>
<u>Εικόνα 36. Οντότητα Αισθητήρας, Εικόνα 37. Οντότητα Κινητού Πελάτη</u>	<u>63</u>
<u>Εικόνα 38. Αρχιτεκτονική δικτύου πειραμάτων</u>	<u>64</u>
<u>Εικόνα 39. Πομπός και Δέκτης με αναμεταδότη RF69, Εικόνα 40. Πομπός αναμεταδότη RF69</u>	<u>66</u>
<u>Εικόνα 41. Πομπός αναμεταδότη RF96</u>	<u>66</u>
<u>Εικόνα 42. Χώρος διεξαγωγής πειραμάτων</u>	<u>67</u>
<u>Εικόνα 43. Διαχείριση ενέργειας οντότητας Αισθητήρα για περίοδο Tr.</u>	<u>73</u>

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Προσδιορισμός pins του RF12B	29
Πίνακας 2. Προσδιορισμός pins του RF69W	31
Πίνακας 3. Προσδιορισμός pins του RF96W	33
Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά αναμεταδοτών RF	34
Πίνακας 5. Εργαλεία ανάπτυξης Arduino IDE	47
Πίνακας 6. Κατανάλωση ενέργειας εργαλείων του δικτύου	65
Πίνακας 7. Μετρήσεις Δικτύου	68
Πίνακας 8. Μετρήσεις αναμεταδωτών: RFM12B, RF69, RF96	69

## Κατάλογος Συντομογραφιών

**IoT:** Internet of Things

**ΔτΠ:** Διαδίκτυο των Πραγμάτων

**WSN:** Wireless Sensor Network

**ΑΔΑ:** Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

**SDTP:** Sensor Data Transmission Protocol

**AHOD:** Ad Hoc on Demand

**AHA:** Ad Hoc Alerts

**RF:** Radio Frequency

**RFID:** Radio Frequency IDentification

**CPU:** Central Processing Unit

**DAC:** Digital to Analog Connector

**ADC:** Analog to Digital Connector

**AVR:** Aboriginal Voice Radios

**LCD:** Liquid Crystal Display

**RAM:** Random Access Memory

**ΔΕΗ:** Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού

**WirelessHart:** Highway Addressable Remote Transducer

**MAC:** Medium Access Control

**RFE:** Radio Frequency Energy

**ET:** Energy Transmitter

**RTC:** Request To Charge

**FSK:** Frequency Shift Key

**TDMA:** Time Division Multiple Access

**LoS:** Loss of Signal

**UWB:** Ultra WideBand

**Phy-OFDM:** Physical Orthogonal Frequency Division Multiplexing

**CSS:** Crisp Spread Spectrum

**FCC:** Federal Communication Commission

**ETSI:** European Telecommunication Standard Institute

**PLL:** Phase Locked Loop

**PA:** Power Amplifier

**LNA:** Low Noise Amplifier

**FIFO:** First In First Out

**LoRa:** Long Range

**PWM:** Pulse Width Modulation

**IDE:** Integrated Development Environment

**DDMS:** Dalvic Debug Monitor Server

**OSI:** Open System Interconnection

**SPI:** Serial Peripheral Interface

**GPRS:** General Packet Radio Services

**RSSI:** Receive Signal Strength Indicator

**CSMA/CA:** Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

**CRC:** Cyclic Redundancy Check

**ACK:** Acknowledgement

**RTO:** Recovery Time Objective

**SQL:** Structure Query Language

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών

## 1. Εισαγωγή

---

Η ραγδαία εξέλιξη των ασύρματων τεχνολογιών καθώς και η αύξηση των ασυρμάτων υπηρεσιών έχουν κάνει τις ασύρματες επικοινωνίες ένα ευρέως διαδεδομένο μέσο για μεταφορά πληροφορίας. Έπειτα, η αλματώδης ανάπτυξη των μικροηλεκτρομηχανικών συστημάτων αλλά και της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων (radio frequency RF), έχει επιτρέψει την ανάπτυξη χαμηλής ισχύος μικροαισθητήρων (microsensors), κατάλληλων για δημιουργία δικτύων χαμηλού κόστους. Τέτοιοι κόμβοι αισθητήρων συλλέγουν δεδομένα που αφορούν το περιβάλλον γύρω τους, όπως θερμοκρασία, διοξείδιο του άνθρακα κ.α., να τα επεξεργάζονται και ταυτόχρονα να επικοινωνούν με τους γειτονικούς τους κόμβους προωθώντας τις πληροφορίες που συλλέγουν. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας αισθητήρας για να λειτουργήσει χρειάζεται την απαραίτητη υποστήριξη από κάποιον μικροεπεξεργαστή.

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things, IoT) αναπτύχθηκε παράλληλα με τα Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων. Η υλοποίηση του προτύπου IoT εξαρτάται από την ενσωμάτωση των Radio Frequency IDentification (RFID) συστημάτων (ανίχνευση και αντιμετώπιση των πραγμάτων αυτόματα και χωρίς επαφή), των Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων (ενσωμάτωση διανομής συλλογής πληροφοριών, μετάδοση και επεξεργασία), των έξυπνων τεχνολογιών (χρησιμοποιώντας τη γνώση για να λυθούν συγκεκριμένα προβλήματα και κατά κύριο λόγο τεχνικές της Τεχνητής Νοημοσύνης, συστήματα Machine-to-Machine και έξυπνη επεξεργασία σήματος) και των νανομετρικών τεχνολογιών (επικεντρώνοντας στα χαρακτηριστικά και στην εφαρμογή των υλικών με μέγεθος μεταξύ 0.1 και 100 nm).

### 1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Σε αυτήν την υποενότητα θα αναλύσουμε τις έννοιες που αναφέρθηκαν παραπάνω και πιο συγκεκριμένα: τους Μικροεπεξεργαστές, τα ΑΔΑ καθώς και το IoT.

#### 1.1.1 Μικροεπεξεργαστές

Τα τελευταία χρόνια η επανάσταση στον τομέα υπολογιστών συντέλεσε στην παραγωγή νέας γενιάς υπολογιστών που έχουν ταχύτητες και υπολογιστική ισχύ χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από εκείνη των πρώτων εμπορικών υπολογιστών. Αυτό ήταν αποτέλεσμα των



ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που συνδυάζουν ένα μεγάλο αριθμό δυνατοτήτων πάνω σε μια φέτα πυριτίου (chip), και ειδικότερα στη δημιουργία και αλματώδη εξέλιξη των μικροεπεξεργαστών (microprocessors). Σήμερα διατίθεται μια πλειάδα μικροελεγκτών που ενσωματώνουν στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα την CPU μαζί με έναν αριθμό περιφερειακών (μνήμη, χρονοστάτες/μετρητές, ακροδέκτες γενικής χρήσεως, DAC και ADC, σειριακές και παράλληλες Θύρες επικοινωνίας κτλ).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα σύγχρονων μικροελεγκτών είναι εκείνοι της οικογένειας AVR της εταιρείας ATMEL. Οι μικροελεγκτές αυτοί προσφέρονται με ένα πλήθος εναλλακτικού αριθμού ακροδεκτών, ξεκινώντας από μικρά και φτηνά ολοκληρωμένα των 8 ακροδεκτών για εφαρμογές πολύ χαμηλού κόστους με περιορισμένες απαιτήσεις και φτάνοντας σε πλήθος προγραμματιζόμενων ακροδεκτών γενικού σκοπού. Οι πιο εξελιγμένοι μικροελεγκτές της οικογένειας διαθέτουν περισσότερους από 60 προγραμματιζόμενους ακροδέκτες γενικού σκοπού. Επίσης πολλά μέλη της σειράς διατίθενται σε τρεις παραλλαγές: τους απλούς μικροελεγκτές που λειτουργούν στα 5 V, τους χαμηλής κατανάλωσης στα 2.7 V (κατάληξη L) και τους πολύ χαμηλούς με κατανάλωση στα 1.8 V (κατάληξη V). Συνήθως οι ακροδέκτες γενικού σκοπού έχουν περισσότερες από μία λειτουργίες, όπως για παράδειγμα εισόδους με ικανότητα να προκαλούν διακοπή (interrupt) στον εσωτερικό επεξεργαστή, εισόδους αναλογικών συγκριτών ή μετατροπέων αναλογικού σε ψηφιακό (ADC), εισόδους κεντρικού u961 ρολογιού (oscillator) ή ασύγχρονης οδήγησης μετρητών (counters), ακροδέκτες για σύνδεση με διάφορες διεπαφές όπως USART, SPI κ.α. Στα πιο εξελιγμένα μέλη της οικογένειας διατίθενται ενσωματωμένα περιφερειακά ακόμα και για την οδήγηση LCD οθόνης ή τη σύνδεση με USB interface. Στο εσωτερικό ενός μικροελεγκτή όπως ο AVR υπάρχει ένας αριθμός από διαφορετικούς τύπους μνήμης, όπως Flash για την εγγραφή του λογισμικού συστήματος (firmware), EEPROM για την αποθήκευση διαφόρων παραμέτρων, καθώς και κάποιος αριθμός θέσεων μνήμης RAM για τις μεταβλητές του λογισμικού. Για το λόγο αυτό οι AVR δεν βγάζουν ακροδέκτες εσωτερικής αρτηρίας διευθύνσεων ή δεδομένων παρά μόνο ακροδέκτες γενικού σκοπού. Με όλα τα παραπάνω περιφερειακά είναι φανερό ότι το πλήθος των εξωτερικών στοιχείων που απαιτούνται για τη δημιουργία ενός συστήματος με μικροελεγκτή AVR είναι ελάχιστο. Το βασικό μειονέκτημα μιας τέτοιας αρχιτεκτονικής μικροελεγκτή είναι η δυσκολία επεκτασιμότητας. Π.χ, αν οι απαιτήσεις σε μνήμη RAM είναι μεγάλες, ο μικροελεγκτής δεν είναι εύκολο να συνδεθεί με εξωτερική μνήμη, η οποία δεν έχει

αρτηρία διευθύνσεων και δεδομένων. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να υλοποιηθούν τέτοιες αρτηρίες με τη χρήση ακροδεκτών γενικού σκοπού οι οποίες ωστόσο θα ήταν αδύνατο να επιτύχουν γρήγορους χρόνους προσπέλασης της μνήμης. Επίσης η συχνότητα ρολογιού στην οποία λειτουργούν τέτοιοι μικροελεγκτές δεν ξεπερνά τα 20 MHz στα πιο εξελιγμένα μοντέλα μιας σειράς όπως οι AVR mega.

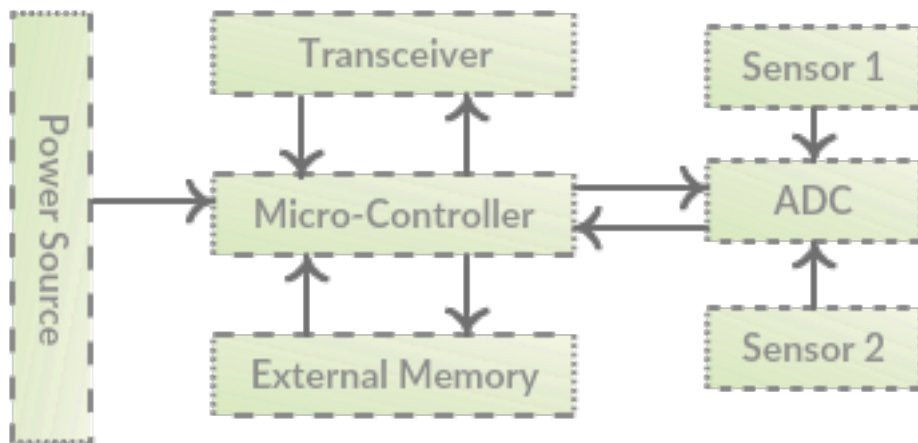
### **1.1.2 Ασύρματα δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ)**

Τα δίκτυα μικροηλεκτρονικών αισθητήρων αποτελούν μια ευρεία και δημοφιλή ερευνητική περιοχή των μικροσυστημάτων, της πληροφορικής και όχι μόνο. Τα τελευταία χρόνια, η περιοχή αυτή έχει αποκτήσει έντονο ενδιαφέρον λόγω των πολλών εφαρμογών και ευκαιριών για εμπλοκή από ερευνητές διαφόρων κλάδων της μικροηλεκτρονικής και των μικροσυστημάτων γενικότερα.

Αισθητήρας γενικά ονομάζεται η ηλεκτρονική συσκευή που έχει τη δυνατότητα να παρατηρεί και να καταγράφει/αναφέρει κάποια παράμετρο του περιβάλλοντος όπως θερμοκρασία, υγρασία, διοξείδιο του άνθρακα κλπ. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από τον καθένα από αυτούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολλούς τρόπους και να αξιοποιηθεί ανάλογα.

Αφετέρου, δίκτυο αισθητήρων είναι ένα σύνολο από μικροεπεξεργαστές οι οποίοι εφοδιάζονται με ένα ή περισσότερους αισθητήρες καθώς και με την δυνατότητα της μεταξύ τους επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, ένα Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων αποτελείται από αυτόνομους αισθητήρες καταμεμημένους στο χώρο, διασυνδεδεμένους μέσω μιας ασύρματης επικοινωνιακής υποδομής πολλών βημάτων (multi-hop), έτσι ώστε να λειτουργούν συνεργατικά για την απεικόνιση, καταγραφή και αποθήκευση φυσικών μεγεθών σε κάποιο επιθυμητό σημείο. Κάθε WSN συνίσταται από κόμβους, κάθε ένας εκ των οποίων μπορεί να είναι συνδεδεμένος με έναν ή και περισσότερους αισθητήρες. Σε ένα WSN, κάθε κόμβος είναι ικανός να πραγματοποιεί αυτόνομα ένα κομμάτι του έργου της επεξεργασίας και της μέτρησης από τους αισθητήρες με τους οποίους συνδέεται. Επιπρόσθετα, οι κόμβοι επικοινωνούν μεταξύ τους προκειμένου να μεταφέρουν τα δεδομένα των αισθητήρων σε κάποιο κεντρικό σημείο επεξεργασίας ή να διεξάγουν κάποια τοπική συνεργασία, όπως είναι ο συνδυασμός των δεδομένων τους. Τα τμήματα του υλικού από τα οποία αποτελείται κάθε κόμβος του WSN είναι τα εξής:

- ❖ Ενσωματωμένος Επεξεργαστής (Embedded Processor)
- ❖ Πομποδέκτης (Transceiver)
- ❖ Μνήμη (Memory)
- ❖ Πηγή Τροφοδοσίας (Power Source)
- ❖ Αισθητήρας (Sensor)
- ❖ Ηλεκτρικό κύκλωμα σύνδεσης



Εικόνα 1. Τμήματα Υλικού Κόμβου WSN

### 1.1.3 Internet of Things (IoT)

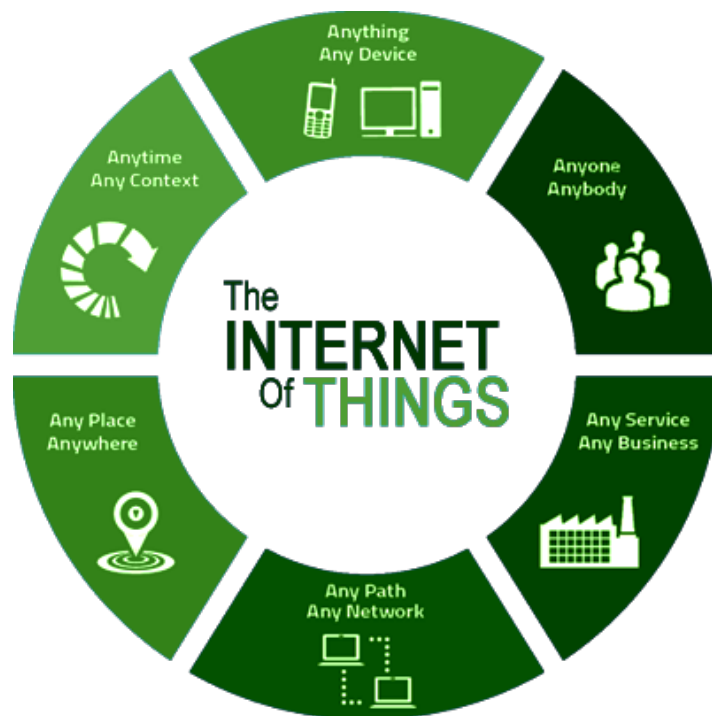
Το Internet of Things (IoT) ή αλλιώς Διαδίκτυο των Πραγμάτων (ΔτΠ) αποτελεί μια εξελιγμένη και πρακτική εφαρμογή Διάχυτου Υπολογισμού (ΔΥ) ή αλλιώς - Ubiquitous Computing. Πρόκειται για μια τεχνολογία της επιστήμης των υπολογιστών, κατά την οποία η έννοια του ηλεκτρονικού υπολογιστή ξεφεύγει από το κλασικό πλαίσιο του επιτραπέζιου υπολογιστή και της συγκεκριμένης μορφής που έχει ο τρόπος αλληλεπίδρασης του χρήστη με τη μηχανή. Στο ΔτΠ, ο υπολογισμός συνυπάρχει με το χρήστη οπουδήποτε, οποιαδήποτε στιγμή, συντροφεύοντας τον σε κάθε είδους καθημερινή δραστηριότητα μέσα από ένα τεράστιο πλήθος καθημερινών συσκευών και/ή αντικειμένων. Η δικτύωση αυτών των «αντικειμένων» ή «πραγμάτων» με άμεσο τρόπο, η ευκολία στην πρόσβαση και/ή τον έλεγχο τους και μεταξύ τους επικοινωνία και οργάνωση, κατά τα πρότυπα του διαδικτύου, αποτελούν τη μελλοντική προέκταση του ίντερνετ (Future Internet) [3].

Τεχνολογικοί κολοσσοί, αναλυτές, ερευνητές και αγοραστικό κοινό φαίνεται να συμφωνούν ότι οι τεχνολογίες που περιλαμβάνονται στην οικογένεια του IoT πρόκειται να επηρεάσουν δραστικά ανθρώπους, μηχανές και επιχειρήσεις. Η διασύνδεση καθημερινών «πραγμάτων» σε ένα ιδιαίτερα πυκνό δίκτυο, αναμένεται να φέρει ευρείες αλλαγές στον τρόπο ζωής, να δώσει τα απαραίτητα εργαλεία για τη δημιουργία νέων δομών, προϊόντων και υπηρεσιών. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 2 το IoT βρίσκεται παντού σε οποιαδήποτε συσκευή, σε οποιονδήποτε άνθρωπο, σε οποιαδήποτε επιχείρηση, δίκτυο καθώς και χώρο.

Το IoT εκτείνεται σε τρία επίπεδα:

- ❖ Το στρώμα Αντίληψης (Perception Layer).
- ❖ Το στρώμα Δικτύου (Network Layer)
- ❖ Το στρώμα Εφαρμογών (Application Layer)

Οι τεχνολογίες του IoT βρίσκονται σε εξέλιξη, ενώ πολλές πτυχές του παραμένουν ακόμη άγνωστες και μια σειρά από προκλήσεις πρέπει να απαντηθούν τόσο από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα, όσο και από τα τμήματα έρευνας και ανάπτυξης των εταιρειών ανά τον κόσμο.



Εικόνα 2. Internet of Things (IoT) [4]

## 1.2 Αντικείμενο Διπλωματικής Εργασίας

Βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής ήταν η δημιουργία ενός έξυπνου και χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας ασυρμάτου δικτύου αισθητήρων καθώς και η σχεδίαση και υλοποίηση ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας που θα υποστηρίζεται από αυτό. Η κύρια ιδέα προήλθε λόγω των εργοστασίων της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) που έχουμε στην περιοχή της Κοζάνης. Τα εργοστάσια αναμφίβολα δίνουν ζωή στον τόπο μας, προσφέροντας εργασία σε χιλιάδες υπαλλήλους, αλλά αντίστοιχα προκαλούν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία τους, λόγω των αντίξοων συνθηκών, στις οποίες καλούνται να δουλέψουν οι εργαζόμενοι καθημερινά χωρίς να υπάρχει κάποιο σύγχρονο σύστημα ελέγχου μέσα στο εργοστάσιο όπου να μπορούν να ελέγχουν ανά πάσα στιγμή τα επίπεδα ρύπων καθώς και θερμοκρασίας μέσα στο εργασιακό περιβάλλον. Η ενασχόληση μου στα πλαίσια της πρακτικής μου με τα ΑΔΑ με ώθησε να εντοπίσω αυτό το πρόβλημα και να μπορέσω να σχεδιάσω ένα ΑΔΑ ώστε να καλύπτει τις ανάγκες των εργαζομένων. Έπειτα πραγματοποιώντας μία συζήτηση με τον κύριο Κοντογιάννη, ο οποίος μου πρότεινε να αναπτύξω ένα ολοκληρωμένο, αυτόνομο, χαμηλού κόστους δίκτυο και ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που να υποστηρίζεται από την αρχιτεκτονική του δικτύου αυτού έτσι καταλήξαμε στο θέμα της διπλωματικής μου εργασίας.

Η παρούσα διπλωματική πραγματεύεται 3 αντικείμενα: την σχεδίαση και υλοποίηση ενός πρωτοκόλλου επικοινωνίας, την δημιουργία ενός δικτύου αισθητήρων καθώς και την ανάπτυξη μίας εφαρμογής για κινητά. Στα πλαίσια της διπλωματικής μου εργασίας προσπάθησα να υλοποιήσω ένα χαμηλής ισχύος πρωτόκολλο επικοινωνίας ώστε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία των οντοτήτων που περιλαμβάνονται στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων που δημιούργησα. Μόλις πραγματοποίησα τον σχεδιασμό του ΑΔΑ και του πρωτοκόλλου παρουσιάστηκε η ανάγκη αλληλεπίδρασης του χρήστη με το δίκτυο, έτσι ο σχεδιασμός μίας εφαρμογής για κινητά κρίθηκε αναγκαίος. Η εφαρμογή που αναπτύχθηκε πήρε το όνομα “Eco-Controller”, είναι μία απλή, φιλική προς τον χρήστη εφαρμογή, μέσω της οποίας μπορεί ο χρήστης μπορεί να ελέγχει τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας ανά πάσα στιγμή καθώς και να ενημερώνεται σε περίπτωση υψηλού επιπέδου μέτρησης ώστε να φορά την μάσκα οξυγόνου του.

## 1.3 Οργάνωση Κεφαλαίων

Η παρούσα διπλωματική εργασία χωρίζεται συνολικά σε οχτώ κεφάλαια–θεματικές ενότητες:

Το 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιέχει την εισαγωγή, όπου αναλύονται οι έννοιες: “Μικροεπεξεργαστές”, “ΑΔΑ”, “IoT” καθώς και η σύνδεση τους. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στο αντικείμενο της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και στον λόγο που επιλέχτηκε το συγκεκριμένο θέμα.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μία ανάλυση των πρωτοκόλλων επικοινωνίας ΑΔΑ που υπάρχουν στην βιβλιογραφία.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική του δικτύου που δημιουργήθηκε, η κάθε οντότητα του δικτύου και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας και γίνεται μία μικρή αναφορά στο περιβάλλον του κάθε λογισμικού καθώς και στις λειτουργίες του.

Στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο περιγράφεται το πρωτόκολλο που ανέπτυξα, τα υποπρωτόκολλα που υποδιαιρείτε καθώς και η χρησιμότητα και η λειτουργία στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής του δικτύου μου.

Στο 6<sup>ο</sup> κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η εφαρμογή που δημιούργησα καθώς και όλες οι λειτουργίες που διαθέτει. Με τη βοήθεια στιγμιότυπων καταγράφονται όλες οι δυνατότητες που διαθέτει η εφαρμογή ενώ παράλληλα παρέχεται εκτενής επεξήγηση για τον τρόπο χρήσης της.

Στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναλύονται τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε καθώς και τα αποτελέσματα των πειραμάτων. Τέλος μετράται η μέση καθυστέρηση, η απώλεια πακέτων και η ρυθμαπόδοση του δικτύου.

Στο 8<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη επισκόπηση της διπλωματικής εργασίας, καθώς και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Επιπλέον, γίνεται αναφορά σε πιθανές μελλοντικές επέκτασης της εφαρμογής.

---

## 2. Πρωτόκολλα επικοινωνίας ΑΔΑ

---

Όσον αφορά τα πρωτόκολλα επικοινωνίας για τα ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων παρατηρούμε ότι υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός στην βιβλιογραφία. Σε μια ολοκληρωμένη έρευνα για τα πρωτόκολλα ΑΔΑ αναφέρετε ότι λειτουργούν με την παραδοχή ότι η ενέργεια είναι περιορισμένη και εξαντλήσιμη. Κατά συνέπεια, εμβαθύνουν κυρίως στην παράταση της διάρκειας ζωής του δικτύου [7]. Ωστόσο, με την δυνατότητα κατανάλωσης της ενέργειας, υπάρχει η ανάγκη μίας νέας προοπτικής για το σχεδιασμό ενός πρωτοκόλλου. Συγκεκριμένα, για το σενάριο της μεταφοράς Radio Frequency (RF) ενέργειας, το πρωτόκολλο SMAC [8], και το πρωτόκολλο WirelessHART (Highway Addressable Remote Transducer) [9], υιοθετούν έναν κύκλο λειτουργίας με βάση την κατανάλωση ενέργειας. Ωστόσο, τα παραπάνω πρωτόκολλα απαιτούν ένα αυστηρό κεντρικό έλεγχο του σταθμού βάσης και ενδιάμεσους κόμβους για τις περιοχές εκτός ορίων, έτσι θα πρέπει να διαθέσουμε πολλά χρήματα από την στιγμή που χρειάζονται και ενδιάμεσοι κόμβοι.

### 2.1 Πρωτόκολλο RF-MAC

Οι συγγραφείς στο άρθρο [10] προτείνουν ένα Medium Access Control (MAC) πρωτόκολλο, που ονομάζεται RF-MAC, το οποίο εξασφαλίζει την βέλτιστη παροχή ενέργειας στον αιτούμενο κόμβο. Πιο συγκεκριμένα, ένας κόμβος μεταδίδει ένα αίτημα για ενέργεια (RFE) μέσω ενός πακέτου, το οποίο περιλαμβάνει το ID του κόμβου και έπειτα περιμένει να λάβει απάντηση από τους πομπούς που εκπέμπουν ενέργεια (Energy Transmitters, ETs), οι οποίοι βρίσκονται στην ίδια γειτονιά. Έπειτα, οι πομποί που θα απαντήσουν ταξινομούνται σε δύο ομάδες με βάση την απόσταση που βρίσκονται από τον αιτούμενο κόμβο ώστε να μειωθούν οι παρεμβολές και να εξοικονομηθεί χρόνος. Σε κάθε ομάδα ETs έχει ανατεθεί μία διαφορετική συχνότητα μετάδοσης έτσι ώστε να συμβάλει επικοινωνιακά στο επίπεδο ενέργειας RF που λαμβάνεται από τον κόμβο.

### 2.2 Dual-band Wireless Energy Transfer Protocol

Στο άρθρο [6] οι συγγραφείς σχεδιάζουν μία αρχιτεκτονική δικτύου, η οποία αποτελείται από δύο κατηγορίες αισθητήρων RF. Η μία κατηγορία αισθητήρων καταναλώνει ενέργεια RF σε ζώνη DVT 614 MHz, ενώ η άλλη κατηγορία χρησιμοποιεί ζώνη ISM 915 MHz. Το στάδιο

μεταφοράς ενέργειας αρχίζει όταν ο ET στείλει ένα αίτημα (Request to Charge, RTC) στα 915 MHz (συχνότητα λειτουργίας Mica2 Mote), προσφερόμενος να μεταφέρει ασύρματη ενέργεια σε όλους τους κόμβους του δικτύου. Έπειτα και οι δύο τύποι αισθητήρων μπορούν να ακούσουν το εισερχόμενο αίτημα-πακέτο που στάλθηκε από τον ET. Ο κόμβος που έλαβε το RTC θα στείλει επιβεβαίωση ότι έλαβε το πακέτο, η απάντηση που θα στείλει ονομάζεται “energy pulses”. Αφού ο ET λάβει τους “energy pulses” από τους κόμβους, θα εκτιμήσει την μέση κατανάλωση ισχύος για αυτήν την διαδικασία. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία, ο ET παρακολουθεί την μέση υπολειπόμενη ενέργεια των κόμβων και στέλνει RTC μόλις ξεπεραστεί το όριο που έχει τεθεί.

## 2.3 Πρωτόκολλο WirelessHART

Το πρωτόκολλο WirelessHART, το οποίο είναι ένα ψηφιακό πρωτόκολλο για αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ μιας εφαρμογής χρήστη και έξυπνων συσκευών, παρέχει πρόσβαση σε διαγνωστικά δεδομένα καθώς και επεξεργασία δεδομένων. Προσδιορίζεται από ένα φυσικό επίπεδο, το οποίο χρησιμοποιεί Frequency Shift Key (FSK) για την τοποθέτηση σημάτων ψηφιακής επικοινωνίας σε χαμηλό επίπεδο (4-20 mA). Ακόμα, υποστηρίζει 2 τύπους δικτύων: point-to-point δίκτυο και multi-point δίκτυο. Το WirelessHART είναι ένα RF πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιείται από προμηθευτές βιομηχανιών όπως η ABB και η OMRON (PLC). Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι αποτρέπει τις συγκρούσεις μηνυμάτων χρησιμοποιώντας Time Division Multiple Access (TDMA) ραδιοφωνικού καναλιού σε προκαθορισμένες χρονοθυρίδες. Ωστόσο, η χρήση του από βιομηχανίες περιορίζεται σε εμπορικές και οικιακές εφαρμογές λόγω του αυξημένου κόστους εγκατάστασης [13].

## 2.4 Πρωτόκολλο SMAC

Το πρωτόκολλο SMAC [8] σχεδιάστηκε για την ανάπτυξη εφαρμογών RF-πομποδεκτών, χρησιμοποιώντας έναν Freescale 802.12.4 πομποδέκτη [13]. Υποστηρίζει point-to-point επικοινωνίες, έχοντας μία πολύ χαμηλής ισχύος, αμφίδρομη σύνδεση επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Ο πομποδέκτης Freescale προωθεί κάθε πρωτόκολλο καθώς και κάθε χαρακτηριστικό του δικτύου σε συσκευές σπιτιού όπως DVD, τηλεόραση, προσφέροντας μια αμφίδρομη επικοινωνία χωρίς να χάνεται το σήμα (Loss of Signal, LoS).



## 2.5 Πρωτόκολλο Bluetooth Low Energy

Το Bluetooth Low Energy [15] είναι ένα 2 MHz BW πρωτόκολλο, το οποίο χρησιμοποιεί τον TDMA ως μηχανισμό πρόσβασης. Ακόμα, πραγματοποιεί χαμηλής ισχύος μεταδόσεις από -20 έως 10 dBm. Περιλαμβάνει πλαίσια μικρού μέγεθος (7-10 φορές μικρότερα από το Bluetooth πρωτόκολλο) και η ρυθμαπόδοση του κυμαίνεται από 250 Kbps έως 2 Mbit/s με χρόνο ένταξης νέων κόμβων στο δίκτυο 2-3 sec.

## 2.6 Πρωτόκολλο RF4CE

Το RF4CE [20] είναι ένα απλό, χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος πρωτόκολλο ασύρματης μετάδοσης, το οποίο χρησιμοποιείται από την εταιρεία ZigBee και από τον συνεταιρισμό RF4CE. Σχεδιάστηκε από το πρότυπο του επιπέδου δικτύου και του επιπέδου εφαρμογών αποτελούμενο από το πρότυπο IEEE 802.15.4, έχοντας το MAC επίπεδο, το φυσικό επίπεδο και τους RF πομποδέκτες ως βάση της υλοποίησής του. Λειτουργεί στην 2.4 GHz ζώνη συχνότητας, υποστηρίζοντας 3 κανάλια RF με τελικό BW στα 2 MHz

## 2.7 Πρωτόκολλο ZigBee

Το πρωτόκολλο ZigBee είναι μία εναλλακτική εκδοχή του Bluetooth για τις βιομηχανικές εφαρμογές. Περιλαμβάνει το IEEE 802.15.4 πρότυπο και χρησιμοποιεί την ίδια ζώνη συχνότητας με το Bluetooth πρωτόκολλο. Το Zigbee είναι ένα πρωτόκολλο πλέγματος με ρεύμα μετάδοσης Tx 18 dBm, το οποίο μπορεί να καλύψει περιοχές έως 250 m. Ακόμα χρησιμοποιείται για μεταδόσεις χαμηλής ρυθμαπόδοσης μη επαναφορτιζόμενων αισθητήρων, γι' αυτό ο χρόνος ένταξης νέων κόμβων είναι λιγότερος από 40 ms και η μέγιστη ρυθμαπόδοση είναι 300 Kbit/s [19]. Το επόμενης γενιάς Zigbee πρωτόκολλο υποστηρίζεται από εταιρείες λογισμικού όπως η Atmel.

## 2.8 Πλατφόρμα UWB

Η WiMedia Ultra-WideBand (UWB) ραδιοφωνική πλατφόρμα χρησιμοποιεί συχνότητες από 3.1 GHz έως 4.85 GHz ή από 6.2 GHz-9.7 GHz [21]. Η WiMedia Alliance ορίζει ένα MAC επίπεδο, το οποίο χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με PHY-OFDM (Physical-Orthogonal Frequency-Division Multiplexing ) radios. Αναλυτικά, τα πακέτα ακολουθούν είτε unicast είτε broadcast μετάδοση. Τα unicast πακέτα κατευθύνονται προς τον προορισμό τους με βάση την

16-bit διεύθυνση τους, επίσης κάποιες διευθύνσεις ορίζονται για broadcast. Αξίζει να σημειωθεί ότι το WiMedia πρότυπο δεν είναι πιστοποιημένο από την IEEE. Σε αντίθεση με τις Ethernet MAC διευθύνσεις, οι οποίες είναι παγκοσμίως μοναδικές, η WiMedia δεν παρέχει καμία εγγύηση για μοναδικότητα των διευθύνσεων που δίνει σε κάθε συσκευή, αλλά ορίζει ένα σύστημα για την επίλυση συγκρούσεων διευθύνσεων. Όπως οι συσκευές της ZigBee έτσι και οι συσκευές της WiMedia είναι ικανές να μεταδώσουν ειδικά πακέτα, τα οποία είτε κρατιούνται σε ειδικές θυρίδες για μετάδοση είτε δεν προορίζονται για μετάδοση και δεν αποθηκεύονται σε κάποια θυρίδα. Ακόμα η UWB είναι μιας μικρής εμβέλειας αλλά μεγάλης ρυθμαπόδοσης τεχνολογία Tx ενέργεια των 12-20 dBm, καλύπτοντας μία περιοχή των 10-20 m. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι ενδείκνυται κυρίως για εφαρμογές πολυμέσων.

## 2.9 Πρωτόκολλο UWB PHY και CSS PHY

Πέρα από την εφαρμογή της WiMedia, μία επέκταση του IEEE 802.15.4, το IEEE 802.15.4a-2007 (τώρα ορίζεται ως IEEE 802.15.4-2011 ακολουθούμενο από το πρότυπο 2015 [22, 23]) χρησιμοποιεί τις gigahertz ζώνες. Το πρότυπο ορίζει 2 φυσικά πρωτόκολλα το UWB PHY και το Crisp Spread Spectrum (CSS PHY). Το UWB παρέχει κανάλια υψηλού ρυθμού σε τρεις διαφορετικές ζώνες, παρέχοντας ταχύτητες από 110 Kb/s έως 26 Mb/s σε μέγιστη εμβέλεια των 100 m για εσωτερικές τοποθεσίες [23]. Το CSS PHY από την άλλη πλευρά, είναι ένα πρωτόκολλο χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, χαμηλής εμβέλειας και χαμηλού ρυθμού δεδομένων. Χρησιμοποιείται στην ζώνη των 2.4 GHz για μετάδοση δεδομένων έως 1 Mb/s [24].

## 2.10 Πρωτόκολλο RF-Tania

Το πρωτόκολλο που σχεδίασα και υλοποίησα ονομάζεται RF-Tania, πρόκειται για ένα έξυπνο, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας πρωτόκολλο, το οποίο βασίζεται σε μία βιβλιοθήκη ανοιχτού λογισμικού που έχει κατασκευαστεί για την επικοινωνία των RF12B πομποδεκτών που χρησιμοποιούνται στο δίκτυο μας. Το πρωτόκολλο RF-Tania αποτελείται από τρία υποπρωτόκολλα, το Sensors Data Transmission Protocol (Tania-SDTP), το Ad-Hoc On Demand Protocol (Tania-AHOD) και το Ad-Hoc Alerts Protocol (Tania-AHA). Το καθένα χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση διαφορετικών λειτουργιών των δικτύου. Το RF-Tania υποστηρίζει από 1-250 δίκτυα πομποδεκτών, όπου το καθένα έχει έναν πομπό και 30 πομποδέκτες [6]. Το πρωτόκολλο RF-Tania παρουσιάζεται αναλυτικότερα στο 5ο κεφάλαιο.

### 3. Αρχιτεκτονική και Οντότητες δικτύου

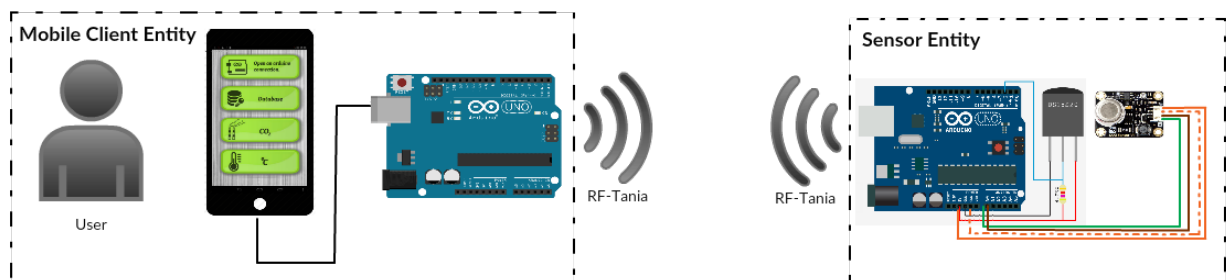
Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η αρχιτεκτονική του δικτύου που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε καθώς και η κάθε οντότητα του δικτύου ξεχωριστά.

#### 3.1 Αρχιτεκτονική δικτύου

Η αρχιτεκτονική του δικτύου που προτείνεται αποτελείται από 2 κύριες οντότητες τον δέκτη (receiver), πιο συγκεκριμένα ονομάστηκε “Οντότητα Κινητού Πελάτη” (Mobile Client Entity) και τον πομπό (transmitter), που ονομάστηκε “Οντότητα Αισθητήρα” (Sensor Entity), Εικόνα 3. Το δίκτυο μας περιέχει μία οντότητα αισθητήρα και 1-30 οντότητες Κινητών Πελατών. Όσον αφορά την επικοινωνία μεταξύ των δύο οντοτήτων καθώς και την μετάδοση των μετρήσεων χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε, RF-Tania.

Η Οντότητα Αισθητήρα αποτελείται από έναν RF (Radio Frequency)-αναμεταδότη (RF-transponder), ο οποίος είναι συνδεδεμένος και δουλεύει με την βοήθεια του μικροελεγκτή Arduino-Uno. Το Arduino αντίστοιχα είναι εξοπλισμένο με έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και έναν αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα. Ο πομπός βρίσκεται σε σταθερή θέση μεταδίδοντας τις μετρήσεις από τους αισθητήρες στους δέκτες, που βρίσκονται στην γειτονιά του, κάθε  $T_p$  περίοδο.

Η Οντότητα Κινητός Πελάτης αποτελείται από 1-30 χρήστες-εργάτες, οι οποίοι έχουν στην κατοχή τους ένα κινητό τηλέφωνο, στο οποίο είναι συνδεδεμένος ένας μικροελεγκτής Arduino-Uno με ένα RF-αναμεταδότη. Οι δέκτες βρίσκονται σε κίνηση μέσα στο δίκτυο αναζητώντας τις μετρήσεις από την οντότητα Αισθητήρα.



Εικόνα 3. Αρχιτεκτονική δικτύου

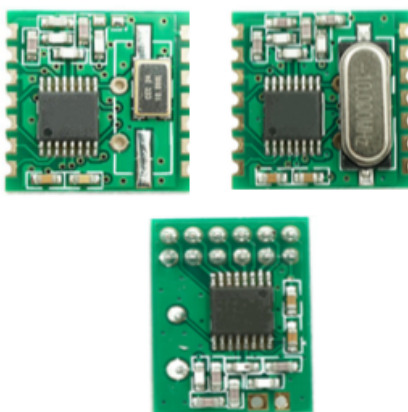
## 3.2 Εξοπλισμός

Στα πλαίσια της αρχιτεκτονικής του δικτύου έγινε μία αναφορά στον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε. Σε αυτό το υποκεφαλαίο θα αναλυθεί το κάθε εργαλείο ξεχωριστά, συγκεκριμένα θα αναλυθούν τα ακόλουθα: RF αναμεταδότες (RF12B, RF69W, RF96W), ο μικροελεγκτής Arduino-Uno, ο αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 και ο αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα MG811.

### 3.2.1 Αναμεταδότες RF

Στα πλαίσια της διπλωματικής ήρθα σε επαφή με 3 αναμεταδότες RF: RF12B, RF69W, RF96. Ο καθένας έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά καθώς και διαφορετική περιοχή κάλυψης. Η διπλωματική μου εργασία πραγματοποιήθηκε με βάση τον αναμεταδότη RF12B, παρ' όλα αυτά έγιναν και κάποια πειράματα με τους άλλους 2 αναμεταδότες για τυχόν μελλοντικές επεκτάσεις του δικτύου. Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα 3 διαφορετικά τσιπ και θα αναφερθώ στις διαφορές και στις ομοιότητες καθώς υπάρχει ένας συγκριτικός πίνακας στην συνέχεια. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα συγκεκριμένα τσιπ αναπτύχθηκαν και υπάρχουν διαθέσιμα μέσω της εταιρίας HOPERF [26].

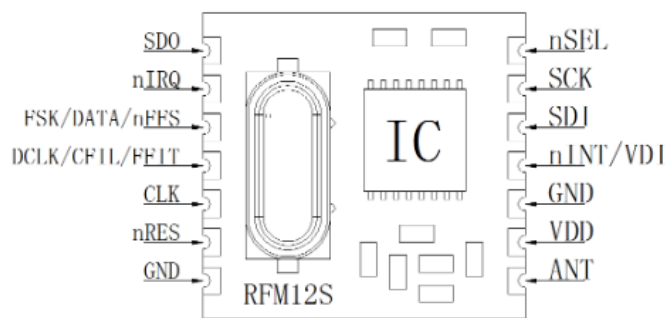
#### 3.2.1.1 RFM12B



Εικόνα 4. Τσιπ RFM12B [27]

Το RF12B (Εικόνα 4) είναι ένα μονό τσιπ, χαμηλής ισχύος, πολλαπλών καναλιών FSK, το οποίο σχεδιάστηκε για χρήση από εφαρμογές που απαιτούν έγκριση από την FCC (Federal Communication Commission) και το ETSI (European Telecommunications Standards Institute) για μη εξουσιοδοτημένη χρήση στις ζώνες 433, 868 και 915 MHz. Ο πομποδέκτης RF12B είναι ένα μέρος της σειράς των προϊόντων EZRadio™, η οποία παράγει μία ευέλικτη

χαμηλού κόστους και ιδιαίτερα ολοκληρωμένη σειρά παραγωγής. Το συγκεκριμένο τσιπ είναι ένας αναλογικός, βασικής ζώνης πομποδέκτης συμπεριλαμβανομένου ενός PLL (Phase-Locked Loop) synthesizer, πολλαπλών ζωνών με PA (Power Amplifier), LNA (Low-Noise Amplifier), I/Q μετατροπείς, φίλτρα βασισμένα στις ζώνες συχνοτήτων και ενισχυτές και έναν I/Q αποδιομορφωτή [27]. Αναλυτικότερα μπορούμε να δούμε τα pins που διαθέτει το RF12B στην Εικόνα 4 καθώς και τις λειτουργίες τους στον Πίνακα 1. Αναλυτικότερα όπου D=digital (ψηφιακό), A=analog (αναλογικό), S=supply (τροφοδοσία), I=input (είσοδος), O=output (έξοδος), IO=input/output (είσοδος/έξοδος).

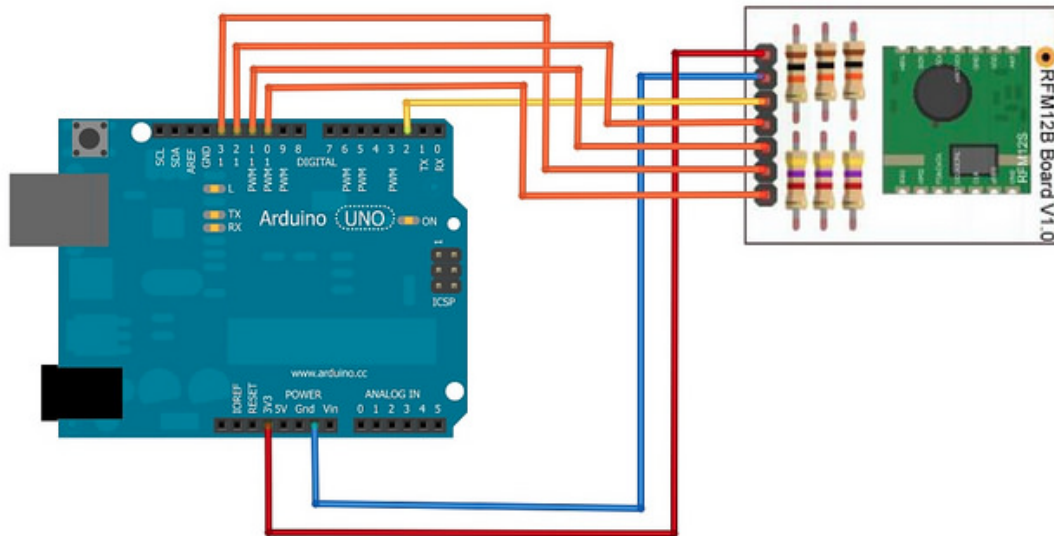


Εικόνα 5. RF12B pins

Πίνακας 1. Προσδιορισμός pins του RF12B

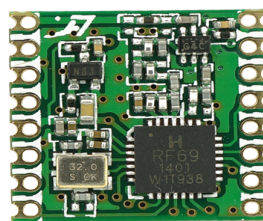
ΟΡΙΣΜΟΙ	ΤΥΠΟΙ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
nINT/VDI	DI/DO	Διακοπή εισόδου/ Δείκτης έγκυρων δεδομένων
VDD	S	Θετική τροφοδοσία
SDI	DI	SPI είσοδος δεδομένων
SCK	DI	SPI είσοδος ρολογιού
nSEL	DI	Επιλογή τσιπ
SDO	DO	Σειριακή έξοδος δεδομένων
nIRQ	DO	Διακοπή ετημάτων εξόδου
FSK/DATA/nFFS	DI/DO/DI	Μετάδοση FSK δεδομένων εισόδου/ Λήψη δεδομένων εξόδου (δεν χρησιμοποιείται FIFO) / Επιλογή FIFO
DCLK/CFIL/FFIT	DO/AIO/DO	Έξοδος ρολογιού (χωρίς FIFO)/ πρόσθετο φίλτρο πυκνωτή (αναλογική λειτουργία) / Διακοπή FIFO
CLK	DO	Έξοδος ρολογιού για πρόσθετο μικροεπεξεργαστή
nRES	DIO	Επανεκκίνηση εξόδου
GND	S	Γείωση

Για να λειτουργήσει το RF12B χρειάζεται να συνδεθεί σε ένα μικροεπεξεργαστή. Ο μικροεπεξεργαστής που χρησιμοποιήσαμε είναι ο Arduino-Uno, ο οποίος περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Η συνδεσμολογία του RF12B με το Arduino φαίνεται στην Εικόνα 5. Επιπλέον μειώνει το φορτίο του μικροελεγκτή με τις ολοκληρωμένες δυνατότητες ψηφιακής επεξεργασίας δεδομένων: φιλτράρισμα δεδομένων, ανάκτηση ρολογιού, αναγνώριση προτύπου δεδομένων, FIFO (First In First Out) και Tx εγγραφή δεδομένων.



Εικόνα 5. Συνδεσμολογία Arduino με RF12B

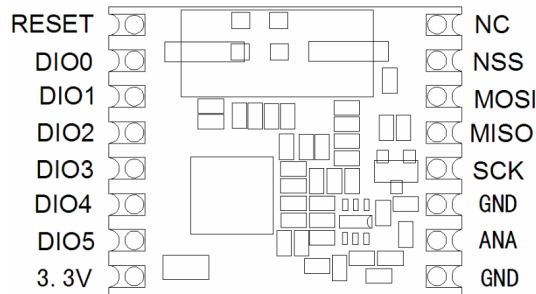
### 3.2.2.2 RF69



Εικόνα 6. τσιπ RF69 [28]

Το RF69W (Εικόνα 6) είναι ένα τσιπ πομποδέκτη ικανό να λειτουργήσει σ' ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων της τάξεως των 315, 433, 868 και 915 MHz. Όλοι οι κύριοι παράμετροι RF επικοινωνίας είναι προγραμματισμένοι και οι περισσότεροι από αυτούς μπορούν να οριστούν δυναμικά. Το RF69 προσφέρει το μοναδικό πλεονέκτημα της προγραμματίσιμης επικοινωνίας περιορισμένης-ζώνης συχνότητας και ευρείας-ζώνης συχνότητας. Ακόμα είναι

βελτιστοποιημένο για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, ενώ προσφέρει υψηλή RF ισχύ εξόδου. Επιπλέον, έχει λάβει έγκριση από την FCC και το ETSI [28]. Αναλυτικότερα μπορούμε να δούμε τα pins που διαθέτει το RF12B στην Εικόνα 7 καθώς και τις λειτουργίες τους στον Πίνακα 2. Αναλυτικότερα όπου D=digital (ψηφιακό), A=analog (αναλογικό), S=supply (τροφοδοσία), I=input (είσοδος), O=output (έξοδος), IO=input/output (είσοδος/έξοδος).

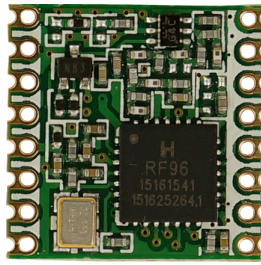


Εικόνα 7. RF69W pins

Πίνακας 2. Προσδιορισμός pins του RF69W

ΟΡΙΣΜΟΙ	ΤΥΠΟΙ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
RESET	DI/DO	Επαναφορά εισόδου
DIO0	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO1	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO2	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO3	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO4	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO5	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
3.3V	S	Τάση τροφοδοσίας
GND	S	Γείωση
ANA	DO/DI	Είσοδος/ Έξοδος RF σήματος
SCK	DI	SPI είσοδος ρολογιού
MISO	DO	SPI έξοδος δεδομένων
MOSI	DI	SPI είσοδος δεδομένων
NSS	DI	SPI είσοδος επιλογής τσιπ
NC	-	Σύνδεση με γείωση

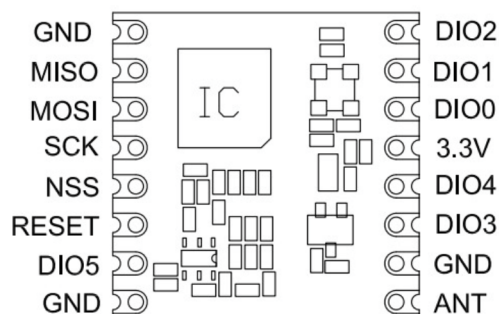
### 3.2.2.3 RF96



Εικόνα 8. τσιπ RF96 [29]

Ο πομποδέκτης RF96 (Εικόνα 8) διαθέτει ένα LoRa (Long Range, μεγάλης εμβέλειας) modem, το οποίο μπορεί να υποστηρίξει επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, αποφεύγοντας τις παρεμβολές και ελαχιστοποιώντας παράλληλα την κατανάλωση ισχύος [29]. Αναλυτικότερα μπορούμε να δούμε τα pins που διαθέτει το RF12B στην Εικόνα 9 καθώς και τις λειτουργίες τους στον Πίνακα 3. Αναλυτικότερα όπου D=digital (ψηφιακό), A=analog (αναλογικό), S=supply (τροφοδοσία), I=input (είσοδος), O=output (έξοδος), IO=input/output (είσοδος/έξοδος).

Χρησιμοποιώντας την πατέντα LoRa της HOPERF μπορεί να επιτευχθεί ευαισθησία πάνω από -148 dBm χρησιμοποιώντας έναν χαμηλού κόστους κρύσταλλο και συγκεκριμένα υλικά. Η υψηλή ευαισθησία σε συνδυασμό με την ενσωματωμένο ενισχυτή των 20 dBm καθιστά το RF96 ως βέλτιστη επιλογή για κάθε εφαρμογή που απαιτεί εμβέλεια και σταθερότητα. Η LoRa παρέχει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο στον αποκλεισμό όσο και στην επιλογή των συμβατικών τεχνικών διαμόρφωσης, λύνοντας τα προβλήματα μεταξύ του φάσματος και της κατανάλωσης ισχύος [26].



Εικόνα 7. RF69W pins



**Πίνακας 3. Προσδιορισμός pins του RF96W**

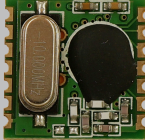
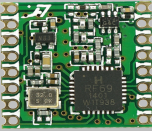
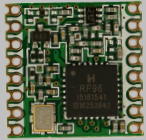
ΟΡΙΣΜΟΙ	ΤΥΠΟΙ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
GND	S	Γείωση
MISO	DO	SPI έξοδος δεδομένων
MOSI	DI	SPI είσοδος δεδομένων
SCK	DI	SPI είσοδος ρολογιού
NSS	DI	SPI είσοδος επιλογής τσιπ
RESET	DI/DO	Επαναφορά εισόδου
DIO5	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
ANT	DO/DI	Είσοδος/Έξοδος RF σήματος
DIO3	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO4	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
3.3V	S	Τάση τροφοδοσίας
DIO0	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO1	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό
DIO2	DI/DO	Ψηφιακή είσοδος έξοδος ρυθμιζόμενη από το λογισμικό

#### 3.2.2.4 Συγκρίσεις-Συμπεράσματα

Για να κατανοηθούν καλύτερα οι διαφορές μεταξύ των τριών τσιπ ως προς κάποιες βασικές παραμέτρους δημιουργήθηκε ο Πίνακας 4. Πιο συγκεκριμένα στον Πίνακα 4 μπορούμε να δούμε και να συγκρίνουμε τα RF12B, RF69 και RF96 ως προς τους εξής παράγοντες: ισχύ εξόδου, κατανάλωση TX, κατανάλωση RX, sleep current, FIFO, πακέτα, κρυπτογράφηση, εμβέλεια, φάσμα συχνοτήτων, ενδεικτική τιμή. Ως προς την ισχύ εξόδου παρατηρούμε ότι το RFM12B έχει μηδενική, ενώ όσον αφορά τα RF69 και RF96 παρατηρούμε ότι υπάρχει μεγάλη διαφορά και βελτίωση της ισχύς εξόδου. Όσον αφορά τις καταναλώσεις Tx και Rx παρατηρούμε ότι το RF69W έχει την μεγαλύτερη κατανάλωση και τα RF12B και RF96W κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα. Βλέπουμε μεγάλη διαφορά όσον αφορά το FIFO, καθώς το RF69 και το RF96 έχουν 66 και 64 bytes αντίστοιχα και το RF12B μόνο 2 bytes. Η δομή των πακέτων είναι ίδια και στα τρία τσιπ. Πρέπει να αναφερθεί ότι το RF96W δεν διαθέτει κρυπτογράφηση σε αντίθεση με τα άλλα 2 τσιπ. Τα χρήματα καθώς και το φάσμα συχνοτήτων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα και για τα 3 τσιπ. Τέλος η μεγαλύτερη διαφορά που εντοπίζουμε

είναι η εμβέλεια στην οποία εκπέμπουν τα 3 τσιπ, καθώς παρατηρείται μεγάλη διαφορά και στα 3 τσιπ όπως βλέπουμε και στον Πίνακα 4. Εδώ πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι κατόπιν πειραμάτων με τα 3 τσιπ παρατηρήθηκε ότι η εμβέλεια σε ανοιχτό χώρο δεν είναι αυτή που αναφέρεται στον Πίνακα 4.

**Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά αναμεταδοτών RF**

	RF12B 	RF69 	RF96 
ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ	0dBm	13dBm	14dBm
TX ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	~23mA	~45mA	~29mA
RX ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	~12mA	~16-18mA	~10-12mA
SLEEP CURRENT	0.3uA	0.1uA	0.2uA
FIFO	2 Bytes Tx/Rx	66 Bytes Tx/Rx	64 Bytes Tx/Rx
ΠΑΚΕΤΑ	Preamble, sync, address, CRC	Preamble, sync, address, CRC	Preamble, sync, address, CRC
ΚΡΥΠΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	εφικτή κρυπτογράφηση στο firmware	HW κρυπτογράφηση 128bit	-
ΕΜΒΕΛΕΙΑ	~80m	~180m	~15 - 20 km
ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ	433,869,919 MHz		
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΤΙΜΗ	5-10 Ευρώ		

### 3.2.2 Μικροελεγκτής Arduino-Uno



Εικόνα 8. Μικροελεγκτής Arduino-Uno [30]

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοικτού κώδικα και σχεδιασμού, που βασίζεται σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση υλικό και λογισμικό. Προορίζεται για καλλιτέχνες, σχεδιαστές, υλοποίηση χόμπι και δραστηριοτήτων, και γενικότερα για οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να δημιουργήσει αλληλεπιδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα [31].

Ακόμα, το Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή, τον οποίο συγχρονίζει στα 16 MHz. Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων: 2 Kb μνήμης SRAM, 1 Kb μνήμης EEPROM, 32 Kb μνήμης Flash. Για να μιλήσουμε λίγο πιο τεχνικά, υπάρχει ένα κύκλωμα που χρησιμοποιεί μικροελεγκτή, το οποίο μας δίνει ένα αριθμό πυλών, οι οποίες μπορεί να λειτουργήσουν είτε ως εισοδοί είτε ως εξόδοι στα κυκλώματά μας. Αυτές τις εισόδους ή εξόδους μπορούμε να τις διαχειριστούμε γράφοντας κώδικα στο περιβάλλον προγραμματισμού Arduino IDE που έχει βασιστεί στη γλώσσα C/C++. Περαιτέρω αναφορά στο λογισμικό δίνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Το κύκλωμα των μονάδων του Arduino είναι ανοικτό, δηλαδή ο σχεδιασμός και τα μέρη του είναι γνωστά και δίνονται από τους κατασκευαστές του, με αποτέλεσμα όποιος θελήσει να μπορεί να το υλοποιήσει. Έτσι, υπάρχει υλικό με την ονομασία Arduino που προέρχεται από τους δημιουργούς και επίσημους κατασκευαστές του στην Ιταλία, ενώ μπορούμε να βρούμε πάρα πολλές ακόμα υλοποιήσεις μονάδων του, απόλυτα συμβατές με τα προγράμματα και κυκλώματα που ενδεχομένως ήδη υπάρχουν και δουλεύουν με τις επίσημες μονάδες Arduino. Η μοναδική δέσμευση που ζήτησαν οι δημιουργοί του Arduino, είναι να αναφέρονται με άλλη ονομασία οι κατασκευές τρίτων, κρατώντας την ονομασία Arduino για αυτούς.

Οι επίσημοι δημιουργοί πουλάνε υλικό μέσω της ιστοσελίδας τους [33], ενώ υπάρχουν και επίσημοι συνεργάτες για την Ελλάδα [34].

Τα αντικείμενα που χρειάστηκαν ώστε να λειτουργήσει το arduino καθώς και να προσαρμοστεί στο δίκτυο μου είναι τα εξής:

- ❖ Μια μονάδα Arduino Uno, η οποία αποτελείται από 14 ψηφιακές εισόδους/εξόδους και 6 αναλογικές εισόδους (Pins).
- ❖ Το αντίστοιχο usb καλώδιο για να συνδεθεί στον υπολογιστή.
- ❖ Καλώδια για σύνδεση των pins με αισθητήρες και τσιπ
- ❖ Μια βάση, όπου μπορούμε να συνδέουμε και να βραχυκυκλώνουμε αυτά που χρησιμοποιούμε (breadboard)
- ❖ Αντιστάσεις, πυκνωτές, ποτενσιόμετρα, αισθητήρες

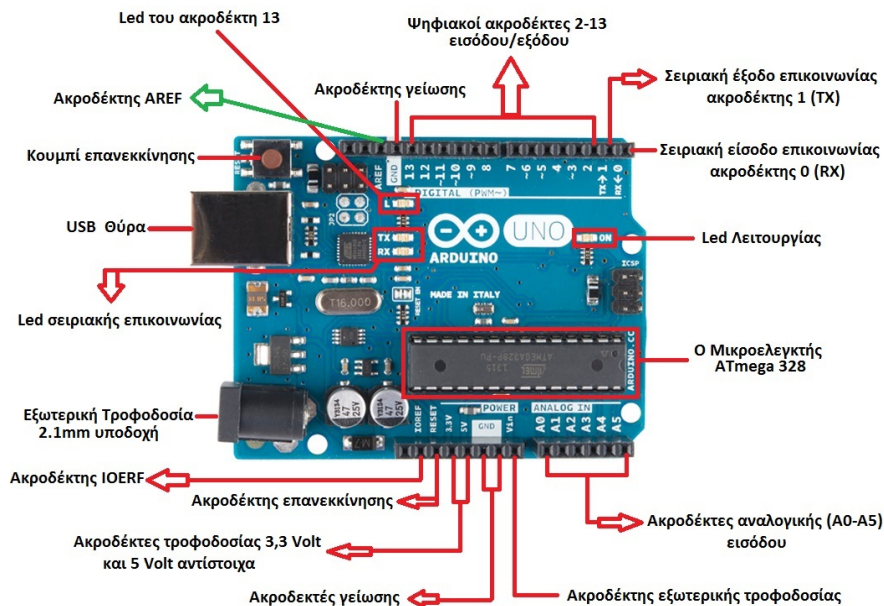
Όσον αφορά τους ακροδέκτες (pins) στην πάνω πλευρά του Arduino Uno βρίσκονται 12 ψηφιακοί θηλυκοί ακροδέκτες (Pin) εισόδου/εξόδου, αριθμημένοι από το 2-13. Λειτουργούν στα 5 V και έχουν τη δυνατότητα να δεχτούν ή να παρέχουν τάση μέχρι 40 mA. Οι ακροδέκτες αυτοί μπορούν να τεθούν ως είσοδοι ή εξοδοι μέσα από το προγραμματιστικό περιβάλλον του arduino. Ως έξοδος ένας ψηφιακός ακροδέκτης (pin) μπορεί να είναι σε μια από τις δυο καταστάσεις, ή σε κατάσταση 5 V το οποίο ονομάζουμε high, ή σε κατάσταση 0 V το οποίο ονομάζουμε low.

Οι ακροδέκτες 0 και 1 χρησιμοποιούνται για την σειριακή επικοινωνία. Το arduino μπορεί και στέλνει ή δέχεται δεδομένα μέσα από την θύρα του usb (ελεγκτής serial over usb) και μέσα από τους ακροδέκτες 0 (RX) και 1 (TX). Ο ακροδέκτης 0 (RX) είναι για την λήψη δεδομένων προς το Arduino και ο ακροδέκτης 1 (TX) είναι για την αποστολή δεδομένων από το arduino. Επίσης υπάρχουν δυο μικρά led πάνω στην πλακέτα με την επωνυμία RX και TX τα οποία αναβοσβήνουν όταν το Arduino δέχεται ή στέλνει δεδομένα αντίστοιχα δίνοντας μας οπτική επιβεβαίωση της σειριακής επικοινωνίας.

Οι ακροδέκτες 2 και 3 μπορούν να λειτουργήσουν και ως εξωτερικοί διακόπτες (interrupt). Σαν διακόπτες μπορούν να διακόψουν την κανονική ροή του προγράμματος, όταν ανιχνευτεί αλλαγή στην κατάσταση τους και να εκτελεστεί μια σειρά από εντολές. Οι ακροδέκτες 3, 5,

6, 9, 10, 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως αναλογικοί έξοδοι με το σύστημα PWM ή αναλυτικότερα Pulse Width Modulation (διαμόρφωση διάρκειας παλμών). Ο ακροδέκτης 13 είναι συνδεδεμένος με ένα Led πάνω στη πλακέτα με την σήμανση L , αποτελεί στην ουσία κομμάτι του πρώτου πειραματισμού με το Arduino.

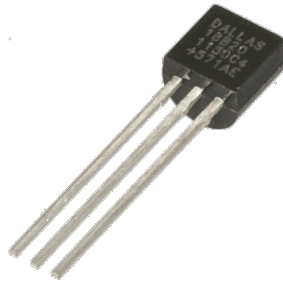
Στην κάτω δεξιά πλευρά της πλακέτας υπάρχουν 6 pin (ακροδέκτες) αριθμημένα από το 0 έως το 5 με την σήμανση analog in τα οποία λειτουργούν ως αναλογικές εισοδοι. Η μέτρηση της τάσης γίνεται στο εύρος από 0 V έως 5 V και διαβάζεται από το Arduino ως τιμή από το 0 (που ισούται με 0 V) έως 1023 (που ισούται με 5 V). Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν επίσης να μετατραπούν σε ψηφιακές έξοδοι άλλα τότε μετονομάζονται σε pin 14-19.



Εικόνα 9. Ακροδέκτες Arduino-Uno

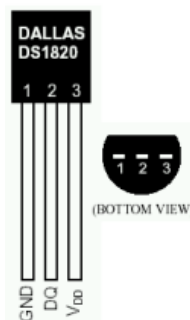
Τέλος το Arduino τροφοδοτείται με ρεύμα είτε μέσω της υποδοχής 2.1 mm είτε μέσω του usb βύσματος ή μέσω των ακροδεκτών εξωτερικής τροφοδοσίας. Αυτή είναι και η σειρά προτεραιότητας του Arduino αν και η επιλογή της τροφοδοσίας γίνεται αυτόματα. Δηλαδή αν το arduino συνδεθεί με ρεύμα μέσα από την υποδοχή 2.1 mm και μέσα από το usb βύσμα ταυτόχρονα, θα χρησιμοποιήσει την υποδοχή 2.1 mm για τροφοδοσία και θα θεωρήσει το usb βύσμα ότι είναι για την επικοινωνία με τον υπολογιστή. Επίσης το Arduino uno μπορεί να δουλέψει με εξωτερική τροφοδοσία από 6-20 Volt. Ιδανικά volt για την λειτουργία του είναι τα 9 V.

### 3.2.3 Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20



Εικόνα 10. Αισθητήρας DS18B20 [36]

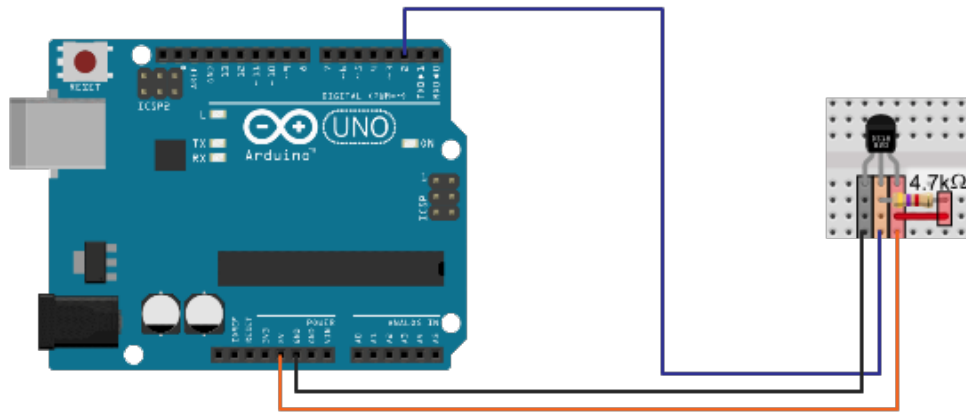
Ο αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 (Εικόνα 10) παρέχει μετρήσεις στην κλίμακα Κελσίου εύρους 9 έως 12 bit. Επιπλέον επικοινωνεί μέσω διαύλου ενός καλωδίου (1-Wire bus) με τον μικροελεγκτή, απαιτώντας μία γραμμή δεδομένων καθώς και γείωση. Μπορεί να λειτουργήσει σε θερμοκρασίες από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $125^{\circ}\text{C}$  και παρέχει ακρίβεια  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  στο εύρος  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$ . Επιπρόσθετα ο DS18B20 μπορεί να αποκομίσει ρεύμα από την γραμμή δεδομένων μέσω παρασιτικού ρεύματος, συνεπώς δεν απαιτεί εξωτερική πηγή ρεύματος. Τέλος, κάθε DS18B20 έχει έναν μοναδικό αριθμό 64bit, ο οποίος επιτρέπει να λειτουργούν πολλαπλοί αισθητήρες DS18B20 στον ίδιο δίαυλο ενός καλωδίου. Κατά συνέπεια, με ένα μικροελεγκτή μπορούμε να ελέγξουμε πολλούς DS18B20, κατανεμημένους σε μια μεγάλη περιοχή.



Εικόνα 11. DS18B20 pins [36]

Ο αισθητήρας DS18B20 όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 11, έχει 3 pin: GND, DQ και VDD. Ο αισθητήρας μπορεί να τροφοδοτηθεί με τάση μεταξύ 3.0 V και 5.5 V. Το GND συνδέεται με τη γείωση και το VDD με +5V από τον Arduino. Ο DS18B20 έχει τη δυνατότητα να τροφοδοτηθεί από το pin που μεταφέρει δεδομένα. Οπότε θα συνδέσουμε με τη γείωση τα δυο PIN , GND και VDD, το μεσαίο pin θα το συνδέσουμε με το pin 2 και μέσω μιας αντίστασης 4.7 kΩ με τα +5V του Arduino όπως βλέπουμε στην εικόνα 12.

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών



Εικόνα 12. Συνδεσμολογία Αισθητήρα θερμοκρασίας με μικροελεγκτή Arduino Uno

### 3.2.4 Αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα MG-811

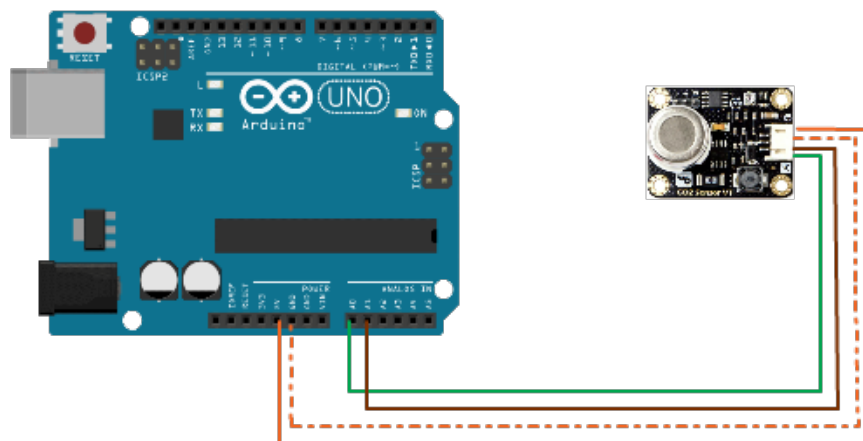


Εικόνα 13. Αισθητήρας διοξειδίου του άνθρακα MG811 [37]

Ο αισθητήρας MG-811 λειτουργεί με την βοήθεια ενός τσιπ όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 13, όπου ο αισθητήρας είναι κουμπωμένος πάνω στο μαύρο τσιπ. Επιπρόσθετα υπάρχει ένα ενσωματωμένο κύκλωμα πάνω στην πλακέτα για την ενίσχυση του σήματος εξόδου και ένα κύκλωμα θέρμανσης για τη θέρμανση του αισθητήρα. Ο MG-811 είναι αρκετά ευαίσθητος στο διοξείδιο του άνθρακα και λιγότερο ευαίσθητος στην αλκοόλη και στο μονοξείδιο του άνθρακα. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ποιότητας του αέρα, σε συστήματα εσωτερικών μετρήσεων κτλπ.

Ο MG-811 απαιτεί 5.5 Volt τροφοδοσία από το Arduino, παρατηρούμε και στην Εικόνα 14 ότι το Vcc pin έχει συνδεθεί μετά 5 Volt στο Arduino, αντίστοιχα το GND πάει στο pin γείωσης του Arduino, το Aout στο pin A0 και το Tem στο pin A1.

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών



Εικόνα 14. Συνδεσμολογία Αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα με μικροελεγκτή Arduino Uno



---

## 4. Λογισμικό

---

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθούμε στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του δικτύου καθώς και του πρωτοκόλλου επικοινωνίας. Συγκεκριμένα για την υλοποίηση της εφαρμογής που υποστηρίζεται από το κινητό, το οποίο θα έχει στην κατοχή του ο χρήστης, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Android Studio. Για τον προγραμματισμό των αισθητήρων, του Arduino, των τσιπ RF12B και συνεπώς για την υλοποίηση του πρωτοκόλλου χρησιμοποιήθηκε το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino ( Arduino Integrated Development Environment, IDE).

### 4.1 Android Studio

Το Android Studio είναι ένα ολοκληρωμένο προγραμματιστικό περιβάλλον (IDE) για ανάπτυξη εφαρμογών στην πλατφόρμα Android. Ανακοινώθηκε στις 16 Μαΐου 2013 στο συνέδριο Google I/O στο Σαν Φρανσίσκο της Καλιφόρνιας από την Google Product Manager, Katherine Chou. Το Android Studio είναι διαθέσιμο στο κοινό εντελώς δωρεάν υπό την Άδεια Έκδοσης 2.0 της Apache (Apache License 2.0).

Το Android Studio ήταν σε αρχικό στάδιο προεπισκόπησης ξεκινώντας από την έκδοση 0.1 τον Μάιο του 2013. Στη συνέχεια δημοσιεύτηκε το δοκιμαστικό στάδιο (Beta) ξεκινώντας από την έκδοση 0.8, που κυκλοφόρησε τον Ιούνιο του 2014. Το πρώτο σταθερό build κυκλοφόρησε το Δεκέμβριο του 2014, ξεκινώντας από την έκδοση 1.0.

Με βάση το λογισμικό JetBrains IntelliJ της IDEA, το Android Studio έχει σχεδιαστεί ειδικά για την ανάπτυξη εφαρμογών σε Android. Είναι διαθέσιμο για μεταφόρτωση (Download) από τα Windows, τα Mac OS X και τα Linux καθώς αντικαθιστεί τα Εργαλεία Ανάπτυξης Android του Eclipse IDE (Eclipse Android Development Tools ADT) και παίρνει την θέση του ως κυρίαρχο IDE της Google.



Εικόνα 15. Λογότυπο Android Studio

### 4.1.1 Χαρακτηριστικά του Android Studio IDE

Τα βασικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνει το Android Studio είναι τα ακόλουθα :

- ❖ **Ισχυρή Επεξεργασία Κώδικα (Powerful Code Editing)** που περιλαμβάνει: Έξυπνο σύστημα αυτοσυμπλήρωσης κώδικα, ριζική πλοήγηση μεταξύ των αρχείων του έργου (Profound navigation between project files), προχωρημένη και ασφαλή επεξεργασία και προεπισκόπηση πόρων.
- ❖ **Ανάλυση κώδικα κατά την επεξεργασία (On-the-fly Code Analysis)**. Ο συντάκτης επισημαίνει προειδοποιήσεις και σφάλματα στον κώδικα αμέσως καθώς πληκτρολογείτε και επιτρέπει να εφαρμοστεί μια προτεινόμενη γρήγορη λύση αυτόματα.
- ❖ **Επεξεργαστής κειμένου** που επιτρέπει την εφαρμογή στοιχείων και προεπισκόπηση σχεδιαγραμμάτων σε πολλαπλές διαμορφώσεις οθόνης.
- ❖ **Ενσωματωμένα εργαλεία του Android (Built-in Android Tools)** που περιλαμβάνει:
  - ❖ **Ισχυρό σχεδιαστή διεπαφής χρήστη με drag-n-drop και υποστήριξη διαφορετικών διατάξεων και μεγεθών οθόνης.**
  - ❖ **Ενσωμάτωση του συστήματος καταγραφής LogCat με δυνατότητα αναζήτησης και εφαρμογής διάφορων φίλτρων εμφάνισης.**
  - ❖ **Ενσωμάτωση του εργαλείου αποσφαλμάτωσης Dalvik Debug Monitor Server (DDMS).**
  - ❖ **Συμπεριλαμβάνει την λειτουργία θέασης ιεραρχίας (Hierarchy View) που μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε την ιεραρχία των στοιχείων της διεπαφής χρήστη.**
  - ❖ **Περιέχει εκτέλεση και αποσφαλμάτωση για εξομοιώσεις κινητών συσκευών καθώς και πραγματικών συσκευών.**
  - ❖ **Υπάρχει επίσης το εργαλείο Draw 9 το οποίο μας προσφέρει την επεξεργασία-δημιουργία εικόνων Bitmap και την αυτόματη προσαρμογή τους σε κάθε μεγέθους οθόνη που τις φιλοξενούν.**

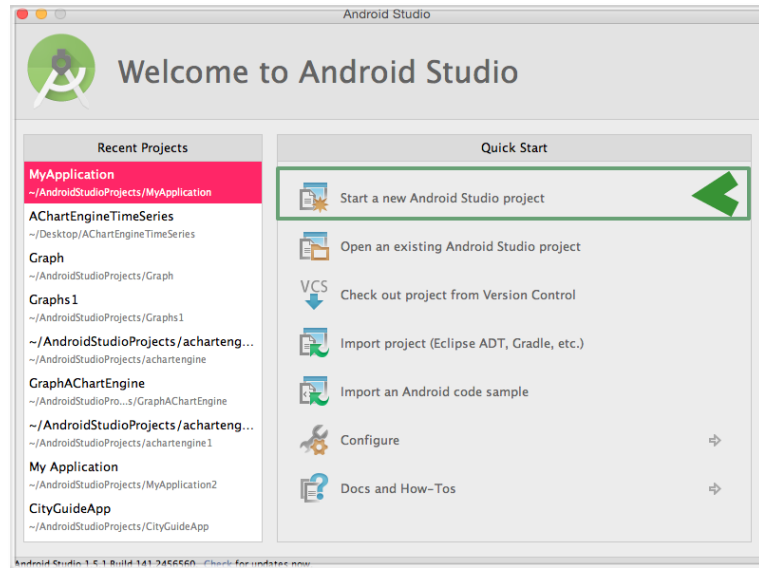
- ❖ Το ενοποιημένο σύστημα Proguard που δίνει την δυνατότητα να συρρικνωθεί και να βελτιστοποιηθεί ο κώδικας μας με την αφαίρεση αχρησιμοποίητου κώδικα και την μετονομασία κατηγοριών, πεδίων και μεθόδων με σημασιολογικές ονομασίες. Το αποτέλεσμα είναι ένα μικρότερου μεγέθους αρχείο .apk που είναι πιο δύσκολο να αντιστραφεί μηχανικά (Reverse Engineered) οπότε και καλύπτεται η ευπάθεια υποκλοπής του κώδικα.
- ❖ Δυνατότητα ψηφιακής υπογραφής της παραχθείσας εφαρμογής με πιστοποιητικό (Certificate). Το Android απαιτεί ότι όλες οι εφαρμογές είναι ψηφιακά υπογεγραμμένες με ένα πιστοποιητικό για να μπορέσουν να εγκατασταθούν. Το Android χρησιμοποιεί αυτό το πιστοποιητικό για την ταυτοποίηση του συγγραφέα/προγραμματιστή ενός app, χωρίς να χρειάζεται να υπογραφεί από κάποια αρχή έκδοσης πιστοποιητικών. Οι Android εφαρμογές χρησιμοποιούν συχνά αυτό-υπογεγραμμένα πιστοποιητικά όπου ο προγραμματιστής της εφαρμογής κατέχει το ιδιωτικό κλειδί του πιστοποιητικού.
- ❖ Η ενσωματωμένη υποστήριξη για την πλατφόρμα της Google Cloud, καθιστώντας εύκολη την ενσωμάτωση του Google Cloud Messaging και του App Engine.
- ❖ Τα εργαλεία Lint (Lint tools) τα οποία δίνουν την δυνατότητα καταγραφής της απόδοσης, της χρηστικότητας, της συμβατότητας εκδόσεων του Android, και άλλων προβλημάτων όπως καταγραφή μερικών ύποπτων και μη δομικών τμημάτων του πηγαίου κώδικα που μπορούν να προκαλέσουν σφάλματα.
- ❖ Πρότυπα κώδικα (Code templates) για να μας βοηθήσουν να αναπτύξουμε εφαρμογές κοινών χαρακτηριστικών.

#### 4.1.2 Δημιουργία εφαρμογής

Η διαδικασία που ακολούθησα για την υλοποίηση της εφαρμογής είναι η εξής:

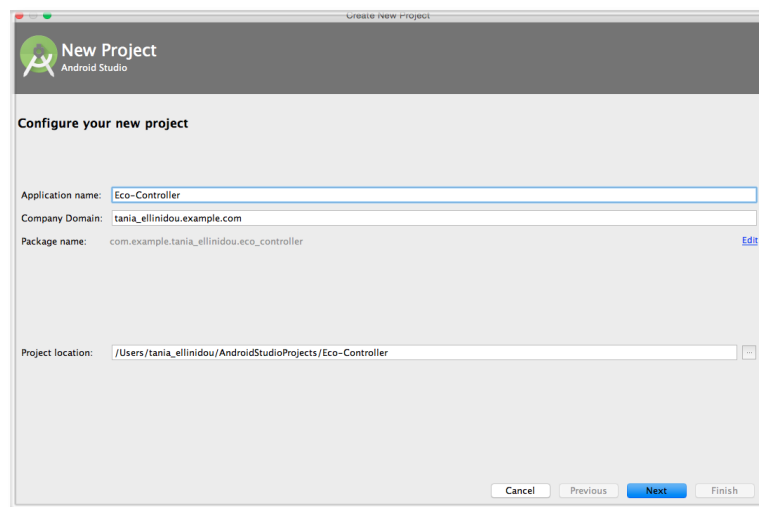
- ❖ **Βήμα 1:** Εκκινώντας το πρόγραμμα Android Studio αρχικά εμφανίζεται η οθόνη καλωσορίσματος (Εικόνα 16). Επιλέγουμε την πρώτη επιλογή “Start a new Android Studio project” ώστε να δημιουργήσουμε μία καινούρια εφαρμογή. Εάν έχουμε ήδη δημιουργήσει την εφαρμογή μας επιλέγουμε το αντίστοιχο project από το πεδίο “Recent Project”.

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών



Εικόνα 16. Αρχική Οθόνη Android Studio

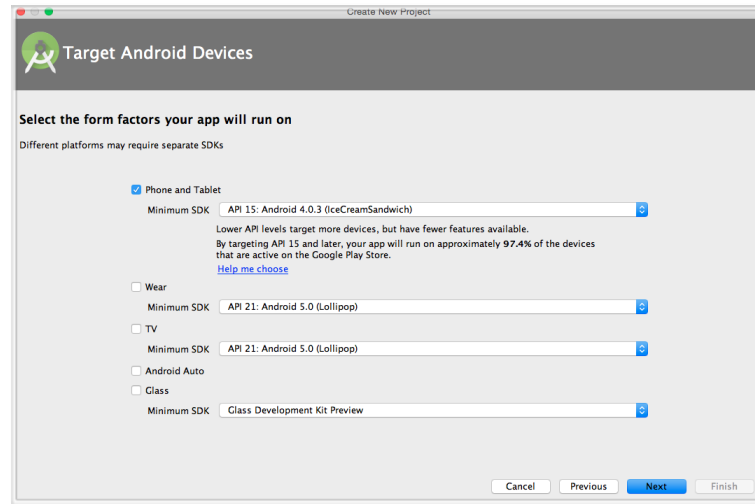
- ❖ **Βήμα 2:** Συμπλήρωση στοιχείων εφαρμογής: όνομα (Application Name), μοναδικό αναγνωριστικό της εφαρμογής (Company Domain), όνομα πακέτου (Package name), τοποθεσία εφαρμογής (Project location) (Εικόνα 17). Όσον αφορά την Εφαρμογή μας την ονομάσαμε “Eco-Controller”.



Εικόνα 17. Οθόνη δημιουργίας νέου project.

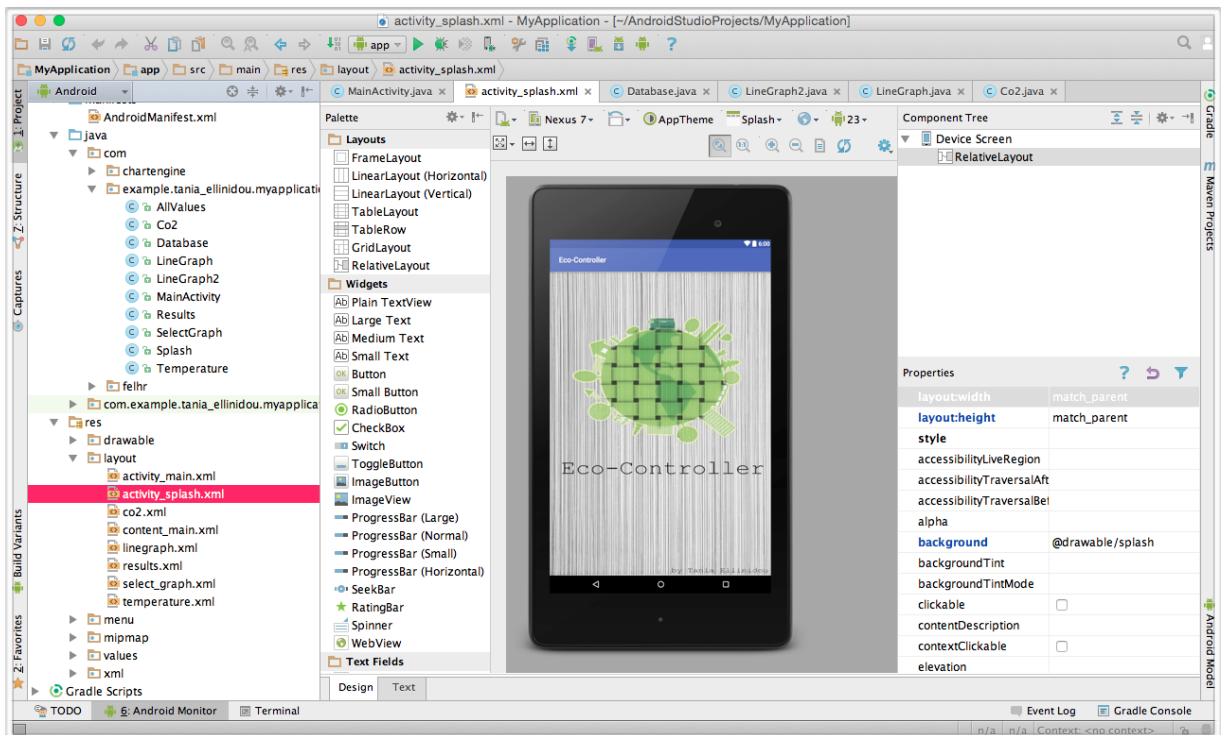
- ❖ **Βήμα 3:** Με τη δημιουργία νέου Android Studio Project έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε την έκδοση του λειτουργικού συστήματος που επιθυμούμε να υποστηρίξει η εφαρμογή καθώς και τις συσκευές που θα τρέξουμε την εφαρμογή μας. Στην προκειμένη περίπτωση ως Android Minimum SDK Version επιλέχθηκε το API Level 15 (Ice Cream Sandwich), όπως φαίνεται στην Εικόνα 18.

Σχεδίαση και υλοποίηση πρωτοκόλλου επικοινωνίας και εφαρμογής απεικόνισης δεδομένων από ασύρματο δίκτυο αισθητήρων καταγραφής περιβαλλοντικών συνθηκών



Εικόνα 18. Οθόνη επιλογής συσκευής Android και Minimum SDK

- ❖ **Βήμα 4** : Έπειτα επιλέγουμε τον τύπο δραστηριότητας (type of activity) που θέλουμε για την εφαρμογή μας και μπορούμε να ξεκινήσουμε τον προγραμματισμό της εφαρμογής μας στο περιβάλλον του Android Studio (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Περιβάλλον Android Studio

## 4.3 Arduino IDE

Το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE (Εικόνα 20) περιέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τη σύνταξη του κώδικα, μια περιοχή στην οποία εμφανίζονται μηνύματα, μία κονσόλα κειμένου και μια γραμμή εργαλείων υπό μορφή κουμπιών. Συνδέεται με το hardware μέρος του arduino για να φορτώσει προγράμματα και να επικοινωνεί μαζί τους. Ο κώδικας που έχει γραφεί για το Arduino ονομάζεται sketch. Στον πίνακα 5 παρουσιάζονται τα εργαλεία του περιβάλλοντος ανάπτυξης, υπό μορφή κουμπιών και στην εικόνα 21 το περιβάλλον.



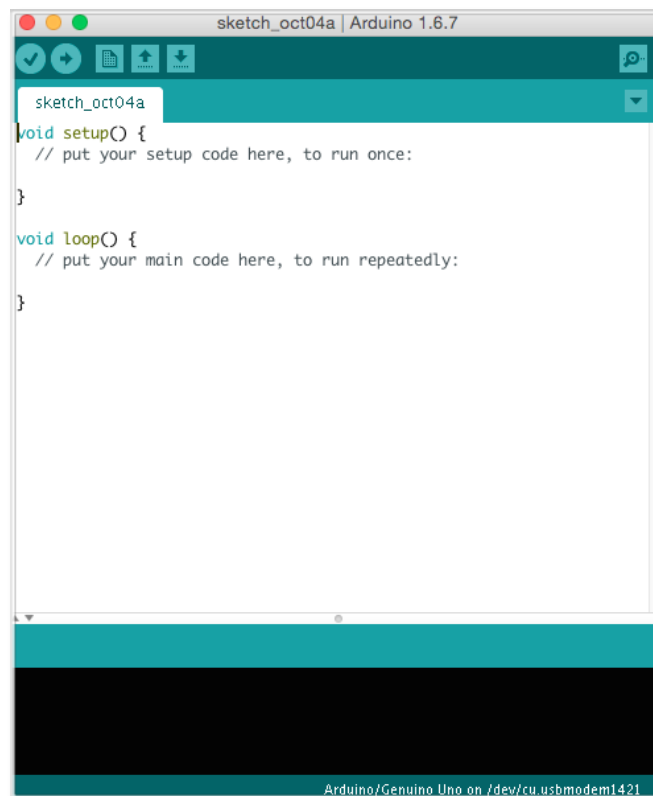
Εικόνα 20. Arduino IDE Αρχική Οθόνη

Ένα πρόγραμμα ή κώδικας που γράφτηκε για Arduino ονομάζεται σκίτσο (sketch). Τα Arduino προγράμματα είναι γραμμένα σε C ή C++. Επίσης το λογισμικό έρχεται με μια βιβλιοθήκη λογισμικού που ονομάζεται "Wiring" από το πρωτότυπο σχέδιο Wiring γεγονός που καθιστά πολλές κοινές λειτουργίες εισόδου/εξόδου πολύ πιο εύκολες. Η γλώσσα wiring είναι μια παραλλαγή της C++ και όπως και το IDE, είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού λογισμικού που χρησιμοποιείται για προγραμματισμό μικροελεγκτών.

Υπάρχουν δυο ειδικές συναρτήσεις που είναι μέρος του κάθε sketch του Arduino, όπως μπορούμε να δούμε και στην Εικόνα 21, οι οποίες είναι η setup() και η loop(). Η setup() καλείται μια φορά, όταν το sketch ξεκινά ή όποτε κάνει επαναφορά (reset) η πλατφόρμα Arduino. Κυρίως, σε αυτήν γίνονται οι αρχικοποιήσεις των μεταβλητών, η ρύθμιση της κατάστασης των ακίδων (pins) και η προετοιμασία των βιβλιοθηκών. Αντιθέτως, η συνάρτηση loop() καλείται ξανά και ξανά επιτρέποντας έτσι στο πρόγραμμα να ανταποκριθεί σε εξωτερικά ερεθίσματα. Και οι δυο συναρτήσεις πρέπει να περιλαμβάνονται στο sketch, ακόμα και αν δεν περιέχουν κάτι και να είναι κενές.

### Πίνακας 5. Εργαλεία ανάπτυξης Arduino IDE

Εικονίδιο	Λειτουργία	Περιγραφή
	Verify	Έλεγχος για συντακτικά λάθη στον κώδικα.
	Upload	Μεταγλωτισμός κώδικα και φόρτωση στο Arduino.
	New	Δημιουργία νέου sketch.
	Open	Παράθεση μενού με sketch. (Κάνοντας κλικ σε ένα από αυτά, θα ανοίξει αυτόματα στο τρέχον παράθυρο.)
	Save	Αποθήκευση sketch.
	Serial Monitor	Άνοιγμα της σειριακής οθόνης.



Εικόνα 21. Περιβάλλον Arduino IDE

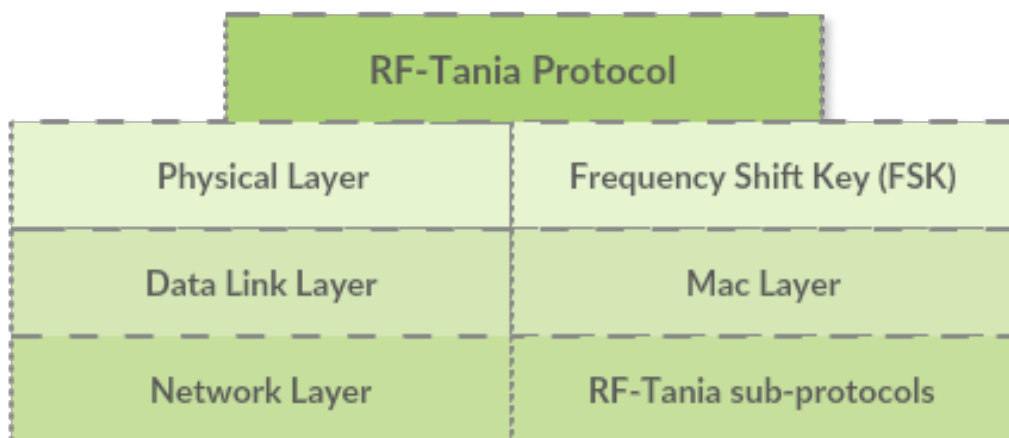
## 5. Περιγραφή Πρωτοκόλλου Επικοινωνίας

Αρχικά δώσαμε το όνομα RF-Tania στο πρωτόκολλο επικοινωνίας που δημιουργήσαμε. Ο κύριος στόχος του πρωτοκόλλου είναι η εξοικονόμηση ενέργειας μειώνοντας την συνεχή λειτουργία των αισθητήρων, των αναμεταδοτών RF καθώς και των arduino, ενώ η αρχιτεκτονική δικτύου παραμένει σταθερή.

Το πρωτόκολλο RF-Tania σχεδιάστηκε με βάση τον driver RFM12B [40], που έχει αναπτυχθεί από την Jeelabs [41]. Ο συγκεκριμένος driver έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- ❖ Οι κόμβοι του δικτύου μπορούν να επικοινωνήσουν μόνο εάν βρίσκονται στην ίδια ομάδα δικτύου (net group). Το κάθε δίκτυο μπορεί να υποστηρίξει από 1 έως 250 ομάδες.
- ❖ Η κάθε ομάδα του δικτύου μπορεί να υποστηρίξει από 0 έως 31 κόμβους.
- ❖ Τα Jeelab πλαίσια (Jeelab frames) αποτελούνται από 0-66 bytes.
- ❖ Τα δεδομένα αποστέλλονται σε ένα μέγιστο ρυθμό των 45-50 Kbit/s.

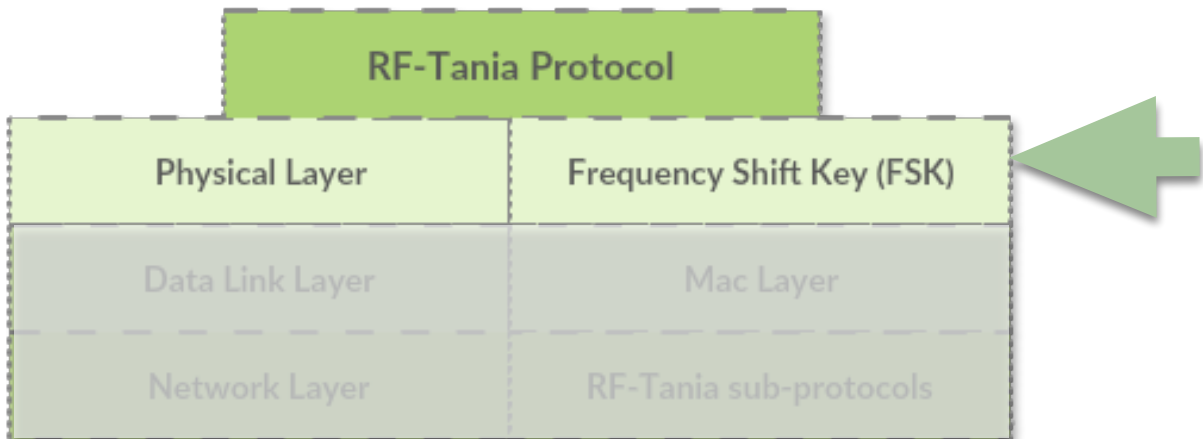
Το πρωτόκολλο RF-Tania αποτελείται από 3 επίπεδα, σύμφωνα με το μοντέλο OSI: Φυσικό Επίπεδο, Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων, Επίπεδο Δικτύου (Εικόνα 22). Το κάθε επίπεδο αναλύεται ακολούθως.



Εικόνα 22. Επίπεδα πρωτοκόλλου RF-Tania



## 5.1 Φυσικό επίπεδο



Το Φυσικό Επίπεδο περιλαμβάνει τα ακόλουθα πεδία διαμόρφωσης: Ρυθμίσεις Διαμόρφωσης, Διαχείριση Ενέργειας, Ρυθμίσεις Συχνότητας, Ρυθμός Δεδομένων, Έλεγχος Δέκτη.

Όσον αφορά τις Ρυθμίσεις Διαμόρφωσης χρησιμοποιήσαμε την συχνότητα των 433 MHz, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι παρεμβολές από άλλες μεταδόσεις στην ίδια περιοχή (GSM συχνότητες, Wi-fi, Bluetooth και GPRS μεταδόσεις δεδομένων). Επιπλέον, ενεργοποιήσαμε τις παραμέτρους RX Register και TX FIFO Buffer. Οι παραπάνω ρυθμίσεις διαμόρφωσης αφορούν τον αναμεταδότη RFM12B και καθορίζονται από τον μικροελεγκτή Arduino (πομπό ή δέκτη) μέσω του SPI (Serial Peripheral Interface), στέλνοντας εντολές των 16 bit στον RFM12B αναμεταδότη.

Όσον αφορά το πεδίο Διαχείρισης ενέργειας, περιλαμβάνει κάποιες παραμέτρους που ελέγχουν την τροφοδοσία των RFM12B αναμεταδοτών και επιτρέπουν την επιλογή κυκλωμάτων, μέχρις ότου το RFM12B ενεργοποιηθεί ή απενεργοποιηθεί ανάλογα. Συνεπώς, με την απενεργοποίηση αυτών των κυκλωμάτων, όταν δεν απαιτείται, μπορούμε να ελέγξουμε την κατανάλωση ενέργειας της συσκευής.

Σχετικά με τις ρυθμίσεις συχνοτήτων, το τσιπ RFM12B έχει την δυνατότητα μετατόπισης συχνότητας μεταπηδήσεων σε κοντινές συχνότητες. Συγκεκριμένα η προεπιλεγμένη μετατόπιση συχνότητας carrier είναι 90 KHz. Εάν υπάρχει κάποια παρεμβολή σε μία συχνότητα, μία άλλη συχνότητα μπορεί να επιλεγεί χειροκίνητα αποφεύγοντας τα προβλήματα παρεμβολών.

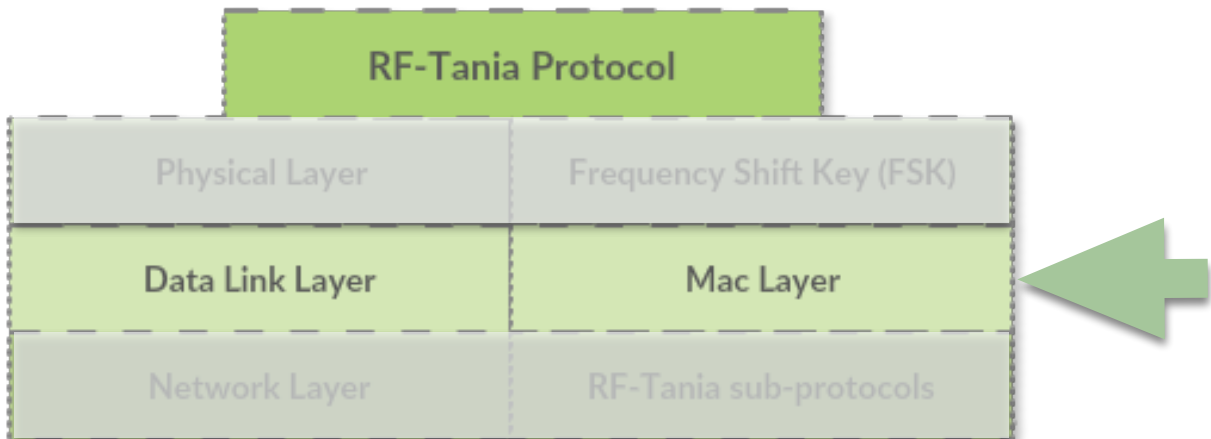
Το RFM12B διαθέτει έναν πλήρως ενσωματωμένο Ενισχυτή Ισχύος (PA, Power Amplifier) με συντονιστή κεραίας και έναν Χαμηλού Θορύβου Ενισχυτή (LNA, Low Noise Amplifier) με δυνατότητα εναλλαγής. Ο Ενισχυτής Ισχύος έχει μία διαφορεική έξοδο ανοιχτού συλλέκτη και μπορεί να οδηγήσει άμεσα μία κεραία βρόγχου σε ένα προγραμματιζόμενο επίπεδο ισχύος των 0 dBm.

Το πεδίο Ρυθμός Δεδομένων προσδιορίζει το ρυθμό μετάδοσης σε bit των μεταδιδόμενων δεδομένων ή τον αναμενόμενο ρυθμό μετάδοσης των ληφθέντων δεδομένων. Ο πραγματικός ρυθμός μετάδοσης σε κατάσταση εκπομπής και ο αναμενόμενος ρυθμός μετάδοσης της ροής δεδομένων σε κατάσταση λήψης καθορίζεται από την 7-bit παράμετρο R (bits r6 έως r0). Ο υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ορίζεται στα 57.4 Kbit/sec. Αυτό συνεπάγεται με 17 usec ανά 1 bit μετάδοση και 139 usec ανά byte (7192 Kbyte/s ή 57,553 Kbit/s).

Το τελευταίο πεδίο του Φυσικού επιπέδου είναι το πεδίο Έλεγχος Δέκτη, το οποίο περιλαμβάνει μία σειρά διαφόρων bit [27]:

- ❖ **Bit 10:** Ρυθμίζει τη λειτουργία των pins INT/VDI σε ένα τσιπ RFM12B. Ακόμα διαμορφώνει το τσιπ ως είσοδο (Διακοπή σύνδεσης από το Arduino) ή εξόδου (VDI Valid Data Indicator).
- ❖ **Bits 9-8:** Είναι υπεύθυνο για τον χρόνο απόκρισης VDI σήματος.
- ❖ **Bits 7-5:** Περιλαμβάνει πληροφορίες για το εύρος ζώνης (BW) του δέκτη. Οι ρυθμίσεις του εύρους ζώνης συνδέονται άμεσα τόσο με το ρυθμό δεδομένων όσο και με εντολές διαμόρφωσης Tx.
- ❖ **Bits 4-3:** Περιλαμβάνει πληροφορίες για το κέρδος Ενισχυτή Χαμηλού Θορύβου (LNA). Συνήθως, 0 dBm είναι η έξοδος LNA του τσιπ RFM12B. Κατά συνέπεια, η μέγιστη ισχύς μετάδοσης του αναμεταδότη είναι 0 dBm.
- ❖ **Bits 2-0:** Καθορίζουν τον ενισχυτή RSSI ως κατώτατο όριο. Το κατώτατο όριο RSSI βασίζεται στην συχνότητα 433 MHz και εκφράζει πόσο ισχυρό ή αδύναμο είναι το σήμα του πομπού.

## 5.2 Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων



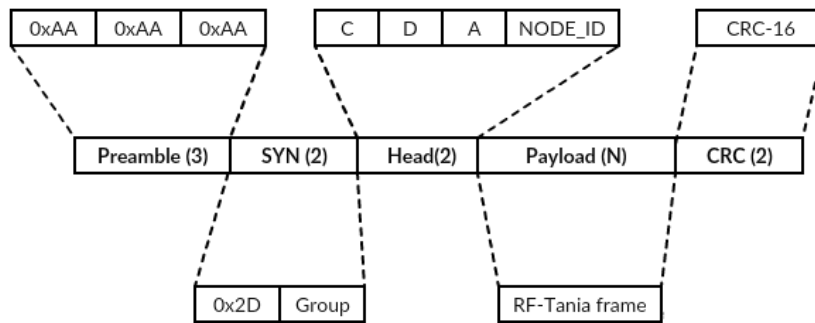
Το Επίπεδο Ζεύξης Δεδομένων περιλαμβάνει ένα επίπεδο MAC, το οποίο είναι υπεύθυνο για το πως και πότε οι συσκευές του δικτύου θα αποκτήσουν πρόσβαση στα δεδομένα και άδεια για μεταφορά δεδομένων. Οι κόμβοι μεταδίδουν πλαίσια, τα οποία ονομάζονται πλαίσια Jeelab και κατασκευάζονται σε αυτό το επίπεδο.

Η Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) είναι μία μέθοδος πολλαπλής πρόσβασης του δικτύου στο οποίο γίνεται ανίχνευση φορέα. Οι κόμβοι προσπαθούν να αποφύγουν συγκρούσεις με την αποστολή δεδομένων μόνο όταν το κανάλι ανιχνεύεται ως αδρανές. Επιπλέον σε αυτό το επίπεδο, εφαρμόζεται ο κανόνας 1% χρησιμοποίησης καναλιού. Συνεπώς κάθε κόμβος μετάδοσης του δικτύου πρέπει να στέλνει δεδομένα κατά 1% του διαθέσιμου χρόνου. Ο κανόνας του 1% είναι ένας πολύ απλός μηχανισμός αποφυγής συγκρούσεων. Επίσης, υπάρχει ένας μηχανισμός back off αποφυγής συγκρούσεων που περιλαμβάνεται στην βιβλιοθήκη Jeelab [40], και καλείται κάθε φορά που έχουμε σύγκρουση πλαισίων κατά την μετάδοση τους. Οι δύο αυτοί μηχανισμοί υλοποιούνται μέσω της συνάρτησης `rf12_easy()`.

Η αρχική κεφαλίδα του πλαισίου, η οποία έχει υλοποιηθεί από το Jeelabs [41] φαίνεται στην Εικόνα 23. Όπως βλέπουμε αποτελείται από τα εξής πεδία:

- ❖ **Preamble (3 bytes) και SYN (2 bytes):** Τα συγκεκριμένα πεδία χρησιμοποιούνται για τον συγχρονισμό της μετάδοσης δεδομένων καθώς και για την επιλογή ομάδας. (Κάθε ομάδα έχει 32 κόμβους και ο καθένας έχει ένα μοναδικό ID)

- ❖ **Head (2 bytes):** Περιλαμβάνει το ID του κόμβου που στέλνει τα δεδομένα ή το ID του κόμβου για τον οποίο προορίζονται τα δεδομένα.
- ❖ **Payload (N bytes):** Είναι 0-56 bytes και αποτελείται από το δικό μας προτεινόμενο πλαίσιο.
- ❖ **CRC (2 bytes):** Είναι το πεδίο ανίχνευσης σφάλματος.



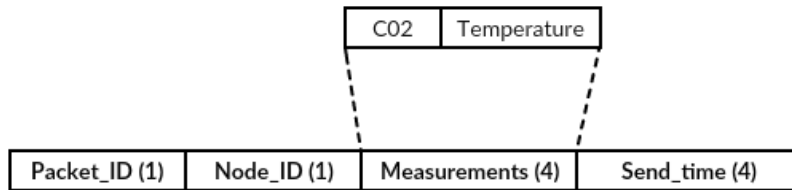
Εικόνα 23. Jeelab πλαίσιο

Προκειμένου να μεταδώσει τα πλαίσια, το πρωτόκολλο RF-Tania χρησιμοποιεί το πεδίο Head. Υπάρχουν 3 bits: C=CTL, D=DST, A=ACK και 5 bit για το ID του κόμβου. Το ID του κόμβου είναι μοναδικό και μπορεί να πάρει την τιμή 0-31. Το A bit δηλώνει κατά πόσο αυτό το πλαίσιο χρειάζεται μία ACK απάντηση. Το C bit πρέπει να είναι 0 σε αυτήν την περίπτωση. Το D bit δείχνει αν το ID του κόμβου ορίζει τον προορισμό ή την πηγή του. Όσον αφορά τα πλαίσια που αποστέλλονται σε συγκεκριμένο κόμβο, τότε το D πρέπει να ισούται 1. Για εκπομπές δεδομένων πλαισίου, D=0, σε αυτήν την περίπτωση το πεδίο ID αναφέρεται στον κόμβο προέλευσης. Το bit C χρησιμοποιείται για να δηλώσει το αίτημα ACK και πρέπει να ακολουθεί το A bit.

Όσον αφορά το πεδίο Payload, περιλαμβάνει το δικό μας RF-Tania πλαίσιο. Συγκεκριμένα το προτεινόμενο RF-Tania πλαίσιο φαίνεται στην Εικόνα 24 και περιλαμβάνει τα εξής πεδία:

- ❖ **Packet\_ID (1 byte):** Περιλαμβάνει έναν αύξον αριθμό που δηλώνει το ID του πλαισίου
- ❖ **Node\_ID (1 byte):** Φέρει το ID του κόμβου που στέλνει δεδομένα.
- ❖ **Measurements (4 bytes):** Διαθέτει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες. (Στην περίπτωση μας έχει μία μέτρηση θερμοκρασίας και μία διοξειδίου του άνθρακα)

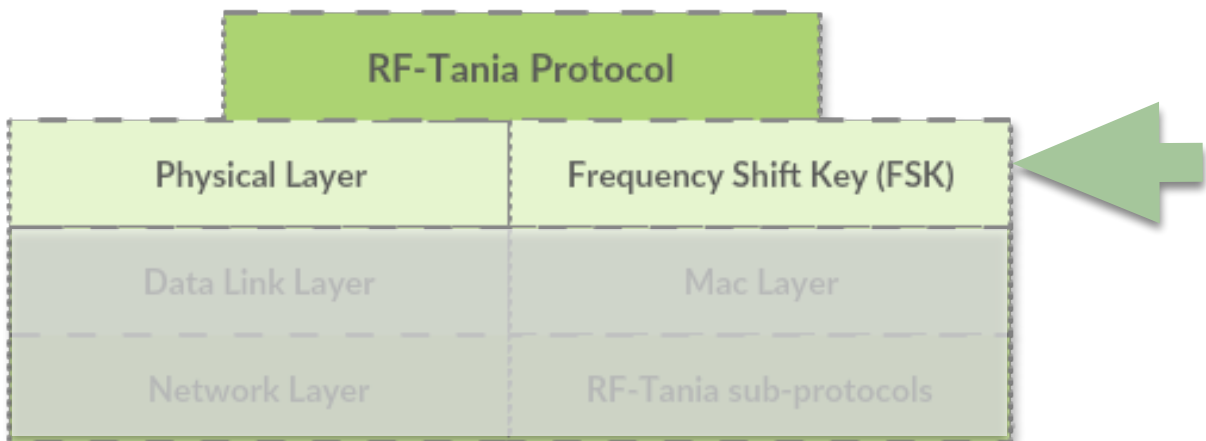
- ❖ **Send\_time (4 bytes):** Περιέχει την χρονική στιγμή που στάλθηκε το πακέτο. (Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήσαμε τη συνάρτηση `millis()`)



Εικόνα 24. RF-Tania πλαίσιο

Το RF-Tania πλαίσιο μπορεί να υποστηρίξει ταυτόχρονα 24 μετρήσεις των 2 bytes η καθεμία (συνολικά 48 bytes) ή 12 μετρήσεις των 4 bytes η καθεμία. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιούμε 2 μετρήσεις των 4 bytes που έχουμε πάρει από τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας αντίστοιχα.

### 5.3 Επίπεδο Δικτύου



Το επίπεδο δικτύου περιλαμβάνει το πρωτόκολλο RF-Tania, το οποίο υποδιαιρείται σε 3 υποπρωτόκολλα: Tania-SDTP (Sensor Data Transmission Protocol), Tania-AHOD (Ad Hoc On Demand) και Tania-AHA (Ad Hoc Alerts). Το κάθε υποπρωτόκολλο αναλύεται παρακάτω.

#### 5.3.1 Υποπρωτόκολλο Tania-SDTP

Σύμφωνα με το υποπρωτόκολλο Tania-SDTP (Εικόνα 25) η οντότητα Δέκτη συλλέγει περιοδικά μετρήσεις από την οντότητα Αισθητήρα. Κάθε οντότητα Αισθητήρα συλλέγει μετρήσεις από τους αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε αυτή. Η συγκεκριμένη οντότητα περιλαμβάνει δύο περιόδους: την περίοδο συλλογής δεδομένων της συσκευής αισθητήρα

( $T_{sc} \approx 2$  s) και την περίοδο μετάδοσης δεδομένων του δικτύου της συσκευή αισθητήρα  $T_p$  (αρχικά  $T_p = 30$  s). Κατά την διάρκεια της περιόδου  $T_p$ , όλες οι μετρήσεις αισθητήρων που ανακτώνται από την οντότητα Αισθητήρα αποθηκεύονται στην SRAM του. Στο τέλος κάθε περιόδου  $T_p$ , ο πομπός υπολογίζει την ελάχιστη μέση τιμή από τις τιμές που έχει συλλέξει, χρησιμοποιώντας την συνάρτηση (1) και ελέγχει αν η εξίσωση (2) ικανοποιείται.

$$x_p = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ci} \quad (1)$$

$$\left( \left| \frac{xc_i - xc_{i-1}}{dt} \right| \right)_{Tc} \geq 4 \min \left( \left| \frac{dxc_p}{dt} \right| \right)_{Tp} \quad (2)$$

Σχετικά με τις παραμέτρους των παραπάνω συναρτήσεων έχουμε:

- ❖  $x_p$ : μέσος όρος μετρήσεων που έχουμε συλλέξει
- ❖  $xc_i$ : μία μέτρηση αισθητήρα σε χρόνο  $T_{sc}$
- ❖  $xc_{i-1}$ : η προηγούμενη μέτρηση του αισθητήρα

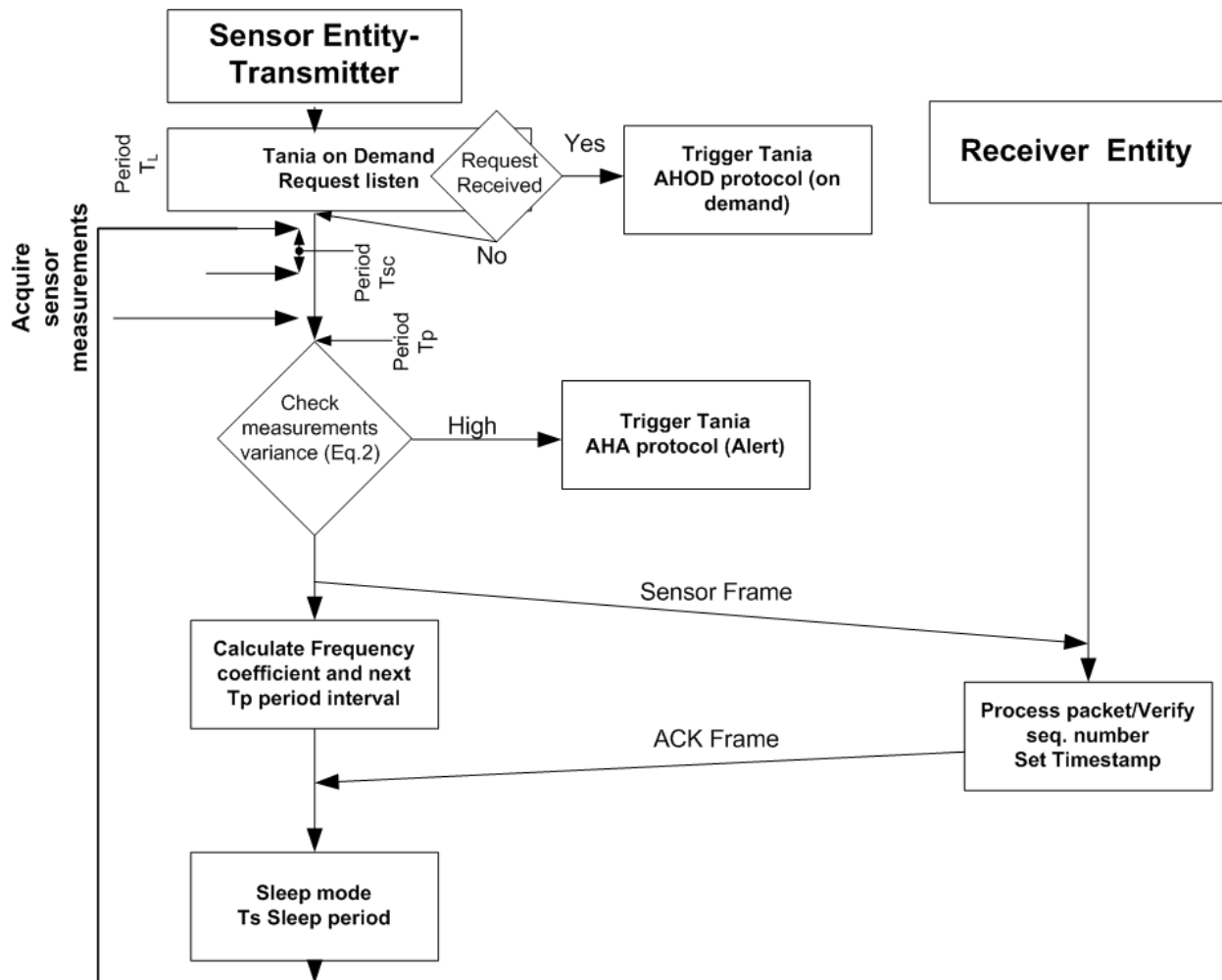
Εάν η συνάρτηση (2) ικανοποιείται, τότε η ήδη υπάρχουσα μέση τιμή μετρήσεων θα θεωρηθεί υψηλής διακύμανσης και θα καλέσουμε το Ταπια-ΑΗΑ υποπρωτόκολλο ώστε να σταλθεί η κατάλληλη ειδοποίηση στον χρήστη. Έπειτα με το που κληθεί το Ταπια-ΑΗΑ υποπρωτοκολλο ακολουθεί μείωση της περιόδου  $T_p$  ( $T_p = T_p/2$ ,  $T_p > 2$  sec). Εάν η συνάρτηση (2) δεν ικανοποιείται, τότε η οντότητα Αισθητήρα θα εκτελέσει αύξηση της περιόδου μετάδοσης  $T_p$  χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:  $T_p = T_p + 1 \times f_p$  (sec), όπου  $f_p$  είναι ο συντελεστής συχνότητας μετάδοσης δεδομένων.

Σε ένα προηγούμενο διάστημα μετάδοσης δεδομένων  $T_p$ , η οντότητα Αισθητήρα σύλλεξε  $n$  αριθμό μετρήσεων ( $M$ ) από τον αισθητήρα CO<sub>2</sub> σε περίοδο  $T_{sc} \ll T_p$ . Κατά τη διάρκεια της περιόδου  $T_p$  η μέγιστη μέτρηση αισθητήρα είναι η  $M_{max}$  και η ελάχιστη είναι  $M_{min}$  (Εξίσωση (3)). Για κάθε περίοδο μετάδοσης, ο συντελεστής συχνότητας μετάδοσης δεδομένων ( $f_p$ ) υπολογίζεται με βάση τις εξισώσεις (3) και (4) και χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της επόμενης περιόδου  $T_p$ .

$$cp = \frac{M_{max}^{Tp} - M_{min}^{Tp}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} [M_{Tsc}^i - M_{Tsc}^{i-1}]} \quad (3)$$

$$f_p = \frac{1}{cp} \quad (4)$$

Η παράμετρος  $M_{TSC}$  εκφράζει τις μετρήσεις αισθητήρων ανά χρονικό διάστημα  $T_{sc}$ . Ο παρονομαστής της συνάρτησης (3) εκφράζει το μέσο όρο  $M_{TSC}$  για μία περίοδο  $T_p$ . Εάν  $f_p < 1$ , τότε το  $f_p$  θα οριστεί ίσο με 1. Ο συντελεστής  $cp$  είναι η αποδοτική παράμετρος ενέργειας.



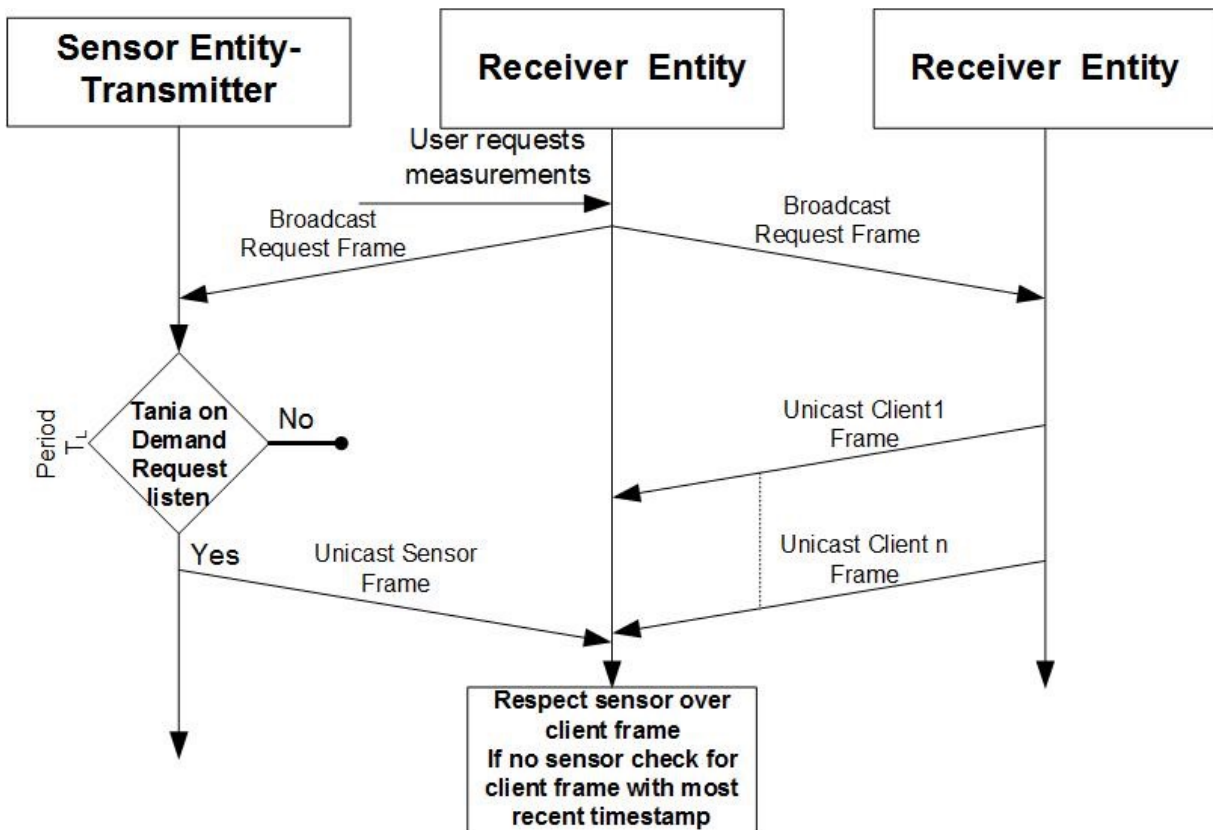
Εικόνα 25. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-SDTP.

### 5.3.2 Υποπρωτόκολλο Tania-AHOD

Αρχικά ο χρήστης μπορεί μέσω του κινητού του τηλεφώνου να ζητήσει μία συγκεκριμένη μέτρηση διοξειδίου του άνθρακα ή θερμοκρασίας, στο οποίο είναι συνδεδεμένο ένας arduino-δέκτης. Έπειτα ο πελάτης-δέκτης θα μεταδώσει ένα ACK αίτημα ώστε να ζητήσει την συγκεκριμένη μέτρηση. Σ' αυτήν την περίπτωση είτε ο πομπός είτε οι υπόλοιποι ενεργοί στο

δίκτυο δέκτες θα απαντήσουν. Σε περίπτωση λήψης πολλαπλών απαντήσεων από άλλους δέκτες ο πελάτης-δέκτης μας θα διαλέξει το πλαίσιο με το μικρότερο χρόνο αποστολής και σε κάθε άλλη περίπτωση θα επιλέξει το πλαίσιο του πομπού.

Μόλις ο δέκτης πάρει την απόφαση για το ποιο πλαίσιο θα επιλέξει, θα το διαβιβάσει στην εφαρμογή του κινητού τηλεφώνου ώστε η ζητούμενη μέτρηση να εμφανιστεί στην οθόνη του χρήστη. Αναλυτικότερα μπορούμε να δούμε και το διάγραμμα ροής του υποπρωτοκόλλου Tania-AHOD στην Εικόνα 26.



Εικόνα 26. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-AHOD

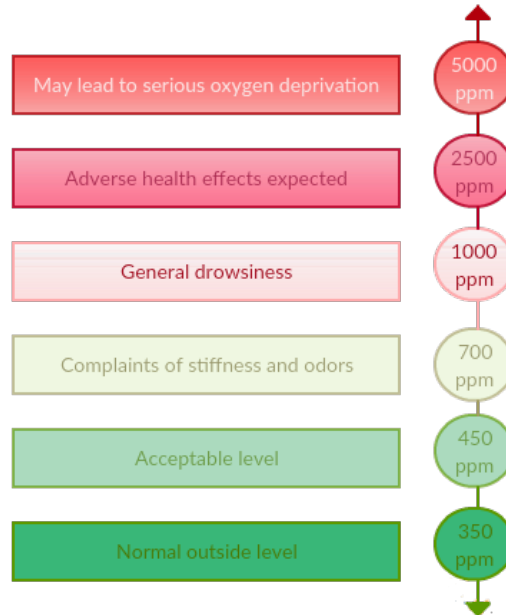
### 5.3.3 Υποπρωτόκολλο Tania-AHA

Αυτό το υποπρωτόκολλο είναι υπεύθυνο να ενημερώσει του χρήστες σε περίπτωση που οι αισθητήρες εντοπίσουν κρίσιμες τιμές μετρήσεων. Πιο συγκεκριμένα οι ειδοποιήσεις χρηστών πραγματοποιούνται όταν ικανοποιείται η εξίσωση (2) ή όταν η τιμές του διοξειδίου του άνθρακα είναι υψηλότερες ή ίσες από ένα όριο που έχουμε θέσει.

Για παράδειγμα σ' ένα δίκτυο αισθητήρων, στο οποίο παρακολουθούνται περιβαλλοντικές μετρήσεις όπως το δικό μας είναι εξίσου σημαντικό να ενημερώνεται ο χρήστης σε



περίπτωση απότομης αλλαγής των περιβαλλοντικών συνθηκών. Επιπλέον, στο δίκτυο μας ελέγχεται κάθε  $T_p$  περίοδο εάν ικανοποιείται η εξίσωση (2) και ταυτοχρόνως ελέγχεται εάν η κάθε τιμή διοξειδίου του άνθρακα υπερβαίνει τα όρια σύμφωνα με την Εικόνα 27.



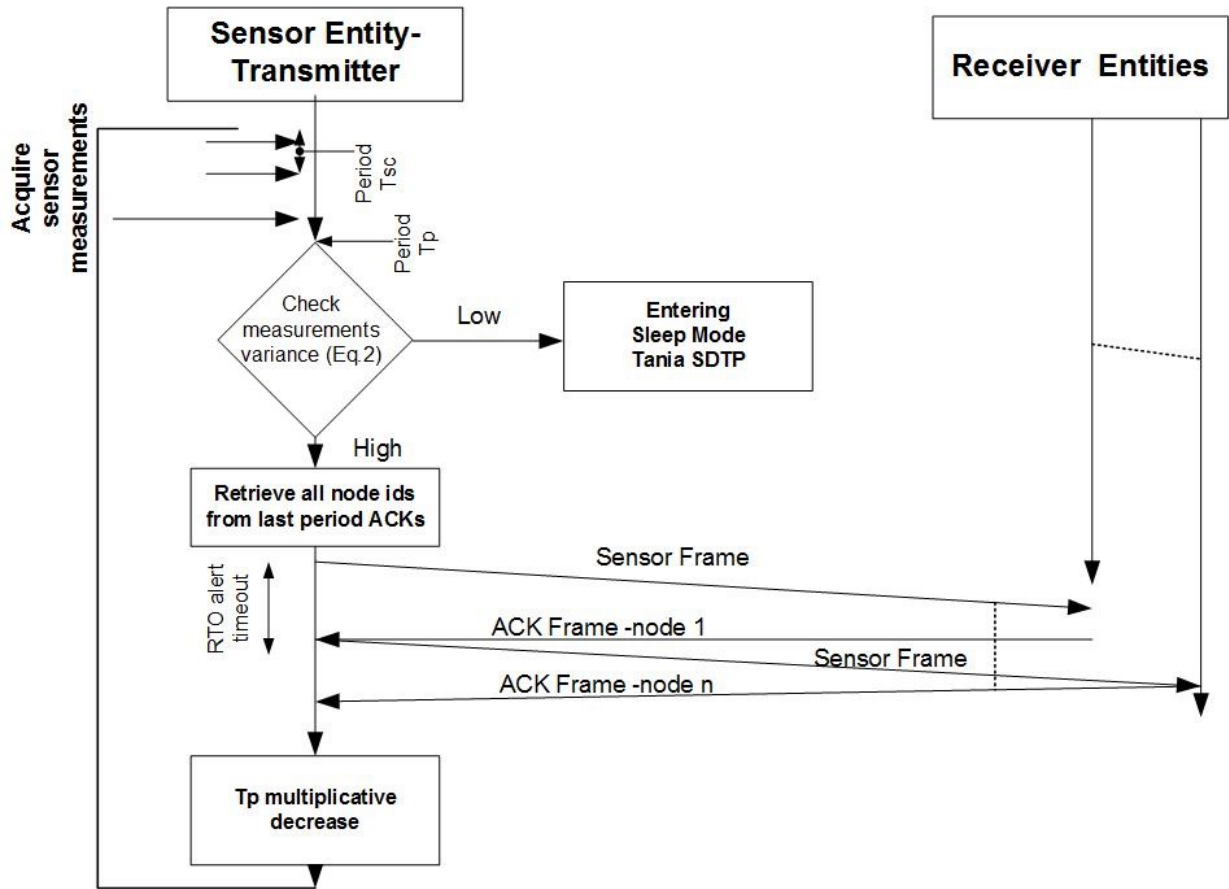
Εικόνα 27. Επίπεδα Διοξειδίου του άνθρακα

Όπως προαναφέραμε εάν ισχύουν τα παραπάνω τότε ο πομπός θα μεταδώσει ένα προειδοποιητικό μήνυμα σ' όλους τους ενεργούς στο δίκτυο δέκτες χρησιμοποιώντας unicast μετάδοση (Τα προειδοποιητικά μηνύματα θα στέλνονται στους δέκτες που έστειλαν ACK στην τελευταία περιοδική μετάδοση που έγινε μέσω του υποπρωτοκόλλου Tania-SDTP). Από την στιγμή που θα λάβει ο δέκτης το συγκεκριμένο μήνυμα θα ανοίξει μία σειριακή επικοινωνία με το κινητό τηλέφωνο στο οποίο είναι συνδεδεμένος ώστε να ενημερωθεί ο χρήστης. (Εικόνα 28).

Κατά την διαδικασία ειδοποίησης καταναλώνεται πολύ ενέργεια, διότι υπάρχει περίπτωση ο πομπός να μην λάβει όλα τα ACK-Reply από τους δέκτες. Γι' αυτόν τον λόγο προγραμματίσαμε τον πομπό ώστε να στέλνει κάθε 1 sec προειδοποιητικά μηνύματα στους δέκτες κατά τη διάρκεια μίας περιόδου  $T_p=30$  sec.

Επιπλέον, το χρονικό όριο για να σταλθούν όλα τα unicast ACK αιτήματα από τον πομπό είναι 2 sec ( $RTO=2$  sec). Εάν το χρονικό όριο ξεπεραστεί, θα σταλθεί ένα πλαίσιο ειδοποιήσεων στους κόμβους που δεν έχουν στείλει ACK-Reply τουλάχιστον 3 φορές για τον

κάθε κόμβο. Μόλις ολοκληρωθεί η μετάδοση μηνυμάτων ειδοποιήσεων, θα ακολουθήσει μείωση της περιόδου μετάδοσης  $T_p$ .



Εικόνα 28. Διάγραμμα ροής υποπρωτοκόλλου Tania-AHA

---

## 6. Εφαρμογή “Eco-Controller”

---

Η εφαρμογή που αναπτύξαμε και υλοποιήσαμε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έχει ως κύριο στόχο να ελέγξει τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα και της θερμοκρασίας ανά πάσα στιγμή σε κάποιον εσωτερικό ή εξωτερικό χώρο, όπως έναν εργοστάσιο, και να προστατεύσει τους εργάτες από την έκθεση τους σε επικίνδυνες περιβαλλοντικές συνθήκες, γι’ αυτό τον λόγο ονομάσαμε την εφαρμογή μας Eco-Controller (Εικόνα 29).



**Εικόνα 29. Εικονίδιο εφαρμογής “Eco-Controller”**

Η εφαρμογή “Eco-Controller” σχεδιάστηκε με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από του υπαλλήλους Δ.Ε.Η. (Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού). Ο εργαζόμενος έχει την δυνατότητα να ελέγχει ανά πάσα στιγμή την τρέχουσα μέτρηση του διοξειδίου του άνθρακα καθώς και της θερμοκρασίας μέσω της εφαρμογής μας απλά πατώντας ένα κουμπί από το αρχικό μενού. Επιπλέον, η εφαρμογή μας θα ενημερώνει τον χρήστη με ένα μήνυμα ειδοποίησης σε περίπτωση που εκτίθεται σε υψηλό επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα, προκειμένου να πάρει τις κατάλληλες προφυλάξεις.

Σε αυτό το κεφάλαιο ακολουθεί μία περιγραφή της εφαρμογής μας, καθώς παρουσιάζονται όλες οι οθόνες της, αναλύονται οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήσαμε καθώς και η βάση δεδομένων.

### 6.1 Λειτουργία εφαρμογής

Αφού εγκαταστήσουμε την εφαρμογή στο κινητό ή tablet μπορούμε να εντοπίσουμε στο μενού εφαρμογών του Android το εικονίδιο της εφαρμογής “Eco-Controller” (Εικόνα 30). Αφού πατήσουμε το εικονίδιο θα γίνει η εκκίνηση της εφαρμογής και θα εμφανιστεί για λίγα

δευτερόλεπτα η splash οθόνη (εικόνα 31) και έπειτα θα εμφανιστεί το κύριο μενού της εφαρμογής μας (Εικόνα 32).

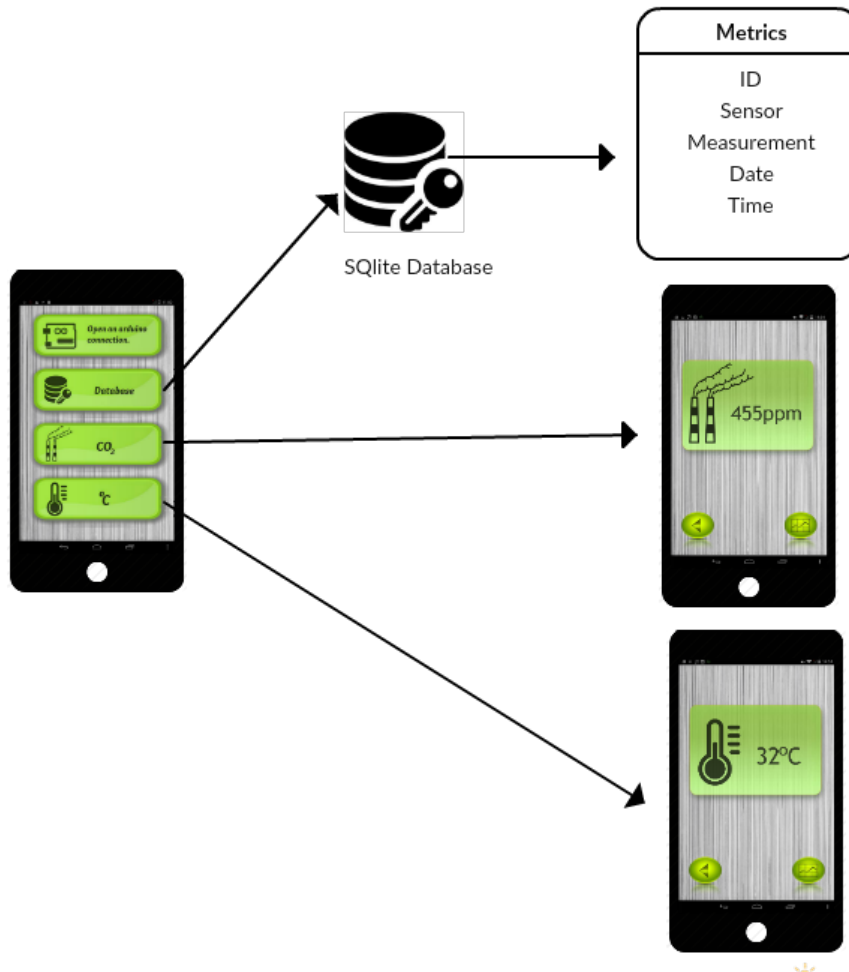


**Εικόνα 30. Μενού εφαρμογών android, Εικόνα 31. Splash οθόνη, Εικόνα 32. Κύριο μενού εφαρμογής**

Όσον αφορά το κύριο μενού, σχεδιάστηκε ένα απλό και φιλικό περιβάλλον αλληλεπίδρασης με τον χρήστη, το οποίο περιλαμβάνει 4 κουμπιά με 4 διαφορετικές λειτουργίες. Συγκεκριμένα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να αρχίσει μία σειριακή επικοινωνία με το Arduino, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο κινητό του, πιέζοντας το πρώτο κουμπί από το κύριο μενού (Open an arduino connection). Έπειτα πατώντας το δεύτερο κουμπί (Database), ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί τις προηγούμενες μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα και θερμοκρασίας που έχει ζητήσει μέσα από την βάση δεδομένων. Εάν ο χρήστης επιθυμεί να ενημερωθεί για τις τρέχουσες μετρήσεις διοξειδίου του άνθρακα ή θερμοκρασίας πρέπει να πατήσει το τρίτο ή τέταρτο κουμπί αντίστοιχα. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρήστης δεν έχει την δυνατότητα να ζητήσει μέτρηση θερμοκρασίας ή διοξειδίου εάν δεν αρχικοποιήσει πρώτα μία σειριακή σύνδεση με το arduino πατώντας το πρώτο κουμπί.

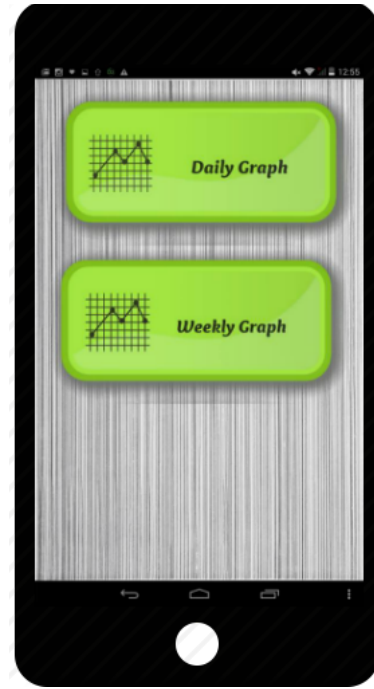
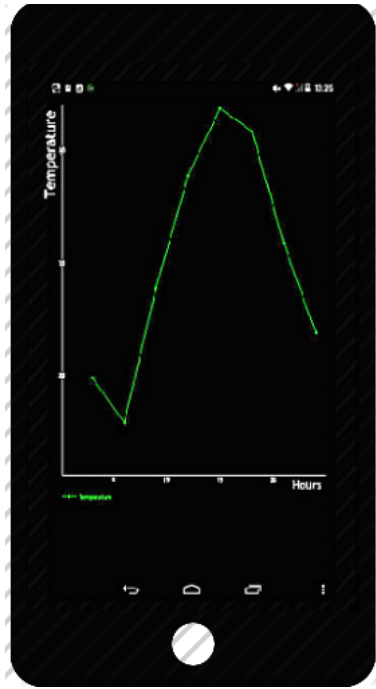
Εάν ο χρήστης επιλέξει να πατήσει το τρίτο ή τέταρτο κουμπί τότε το κινητό ανοίγει μία σειριακή σύνδεση με το arduino, χρησιμοποιώντας την βιβλιοθήκη USBSerial [43], ώστε να στέλνει ένα έτοιμο για να ζητήσει την κατάλληλη μέτρηση από τον arduino-δέκτη. Στη συνέχεια ο arduino-δέκτης στέλνει ένα ACK αίτημα στον πομπό ώστε να ζητήσει την

κατάλληλη μέτρηση χρησιμοποιώντας το Tania-AHOD πρωτόκολλο που αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5. Εφόσον ο πομπός απαντήσει στον δέκτη τότε η αιτούμενη μέτρηση εμφανίζεται στο κινητό του χρήστη, όπως φαίνεται στην Εικόνα 33. Όσον αφορά το κουμπί “Database”, πληροφορίες για την βάση δεδομένων δίνονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.



Εικόνα 33. User Interface

Εφόσον εμφανιστεί η μέτρηση, που έχει ζητήσει ο χρήστης, στην οθόνη, στην συνέχεια έχει την δυνατότητα να πατήσει το κουμπί που οδηγεί στην οθόνη με τα γραφήματα, ώστε να εμφανιστούν τα γραφήματα θερμοκρασίας ή διοξειδίου του άνθρακα. Επίσης ο χρήστης μπορεί να διαλέξει εάν επιθυμεί να εμφανιστεί στην οθόνη το ημερήσιο ή εβδομαδιαίο διάγραμμα των μετρήσεων (Εικόνα 34). Όσον αφορά την γραφική απεικόνιση, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη AChart Engine [44]. Στην Εικόνα 35 μπορούμε να δούμε ένα γράφημα θερμοκρασίας το οποίο εμφανίστηκε στο χρήστη ύστερα από αίτηση του. Όσον αφορά το γράφημα, ο x άξονας αντιπροσωπεύει τις μετρήσεις θερμοκρασίας και ο y άξονας αντιπροσωπεύει τις ώρες της ημέρας.



Εικόνα 34. Οθόνη επιλογής γραφήματος, Εικόνα 35. Οθόνη καθημερινού γραφήματος θερμοκρασίας

## 6.2 Βάση δεδομένων

Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιήσαμε είναι η SQLite. Αναλυτικά η SQLite είναι ένα σύστημα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων που περιέχεται σε μια C προγραμματιστική βιβλιοθήκη. Η SQLite επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων χωρίς να χρειάζεται να τρέχει σε κάποιον server και όλα τα στοιχεία της αποθηκεύονται σε ένα αρχείο το οποίο αποθηκεύεται τοπικά στο Storage της εφαρμογής. Επίσης υλοποιεί το μεγαλύτερο μέρος του προτύπου SQL, χρησιμοποιώντας μια δυναμική τυπωμένη SQL σύνταξη [42].

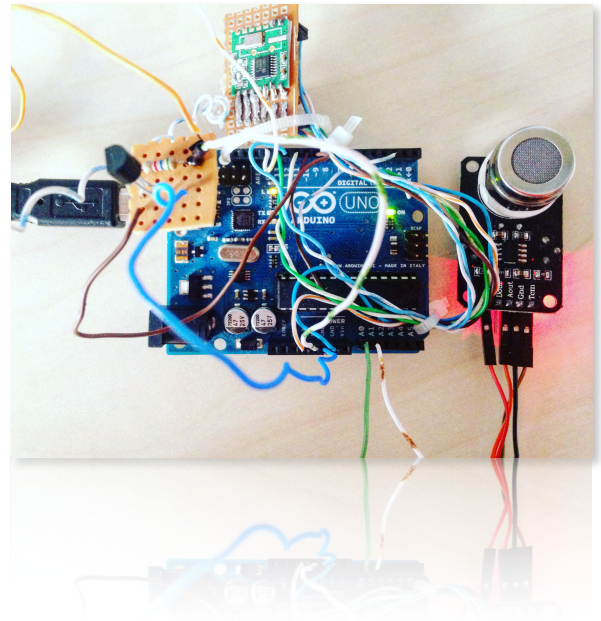
Συγκεκριμένα όπως μπορούμε να δούμε και στην Εικόνα 33 η δική μας βάση δεδομένων αποτελείται από ένα πίνακα, ο οποίος ονομάζεται “TBL\_Metrics”, που περιέχει τα ακόλουθα πεδία: ένα μοναδικό αύξον αριθμό που προσδιορίζει την κάθε μέτρηση (ID), το είδος της μέτρησης που ζήτησε ο χρήστης (Sensor), την τρέχουσα μέτρηση που λήφθηκε από το arduino (Measurement), την ημερομηνία και την ώρα που λήφθηκε (Date, Time).

## 7. Πειραματικό Μέρος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα πειράματα που διεξάχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας καθώς και οι παράγοντες ως προς τους οποίους ελέγχθηκε το προτεινόμενο δίκτυο καθώς και το RF-Tania πρωτόκολλο. Επιπλέον, σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειράματα που διεξάχθηκαν με τα τσιπ RF12B, RFM69, RFM96 ώστε να καταλήξουμε στον κατάλληλο αναμεταδότη για το δίκτυο μας και τέλος οι μετρήσεις που πήραμε από το καθένα.

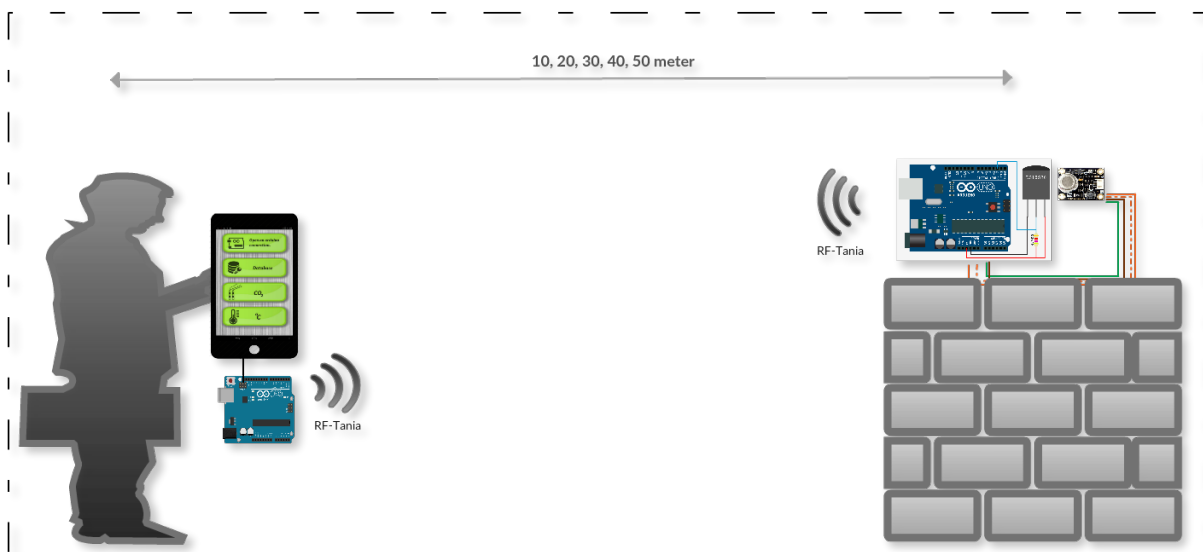
### 7.1 Πειράματα

Τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε περιλαμβάνουν 2 οντότητες, την οντότητα Αισθητήρα και την οντότητα Κινητός Πελάτης (Εικόνα 36). Η οντότητα Αισθητήρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 36, αποτελείται από: το Arduino-Uno, τον αναμεταδότη RF12B [27], τον αναλογικό αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα MG-811[36] και τον ψηφιακό αισθητήρα θερμοκρασίας DS18B20 [37]. Η οντότητα Κινητός Πελάτης, όπως φαίνεται στην Εικόνα 37, περιλαμβάνει: έναν χρήστη ο οποίος έχει στην κατοχή του ένα κινητό τηλέφωνο, στο οποίο είναι συνδεδεμένο ένα Arduino-uno και ένας αναμεταδότης RFM12B.



Εικόνα 36. Οντότητα Αισθητήρας, Εικόνα 37. Οντότητα Κινητού Πελάτη

Στα πειράματα που διεξάχθηκαν η οντότητα του Αισθητήρα παρέμεινε σε σταθερή θέση καθ' όλη την διάρκεια, καθώς οι αισθητήρες πρέπει να βρίσκονται σε σταθερή θέση ώστε οι μετρήσεις να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, σε αντίθεση με την οντότητα Κινητός Πελάτης που βρίσκεται σε κίνηση. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων μετακινήσαμε την οντότητα Κινητός Πελάτης 10, 20, 30, 40, 50 μέτρα μακριά από την οντότητα Αισθητήρα (Εικόνα 38). Έπειτα προσθέσαμε άλλη μία οντότητα Κινητού Πελάτη στο δίκτυο μας για να δούμε πως αλληλεπιδρά το πρωτόκολλο σε περίπτωση ύπαρξης 2 δεκτών και διαπιστώσαμε ότι όντως το πρωτόκολλο RF-Tania λειτουργεί με επιτυχία. Δυστυχώς δεν μπορέσαμε να προσθέσουμε άλλους δέκτες στο δίκτυο μας λόγω οικονομικής αδυναμίας.



Εικόνα 38. Αρχιτεκτονική δικτύου πειραμάτων

Όσον αφορά την τροφοδοσία των οντοτήτων, το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής των 2.1 mm (θετικός πόλος στο κέντρο). Στην δική μας περίπτωση η οντότητα Αισθητήρα τροφοδοτείται μέσω ενός σταθερού υπολογιστή από τον οποίο μπορούμε να δούμε τα μηνύματα που εκτυπώνει, πόσο συχνά στέλνει μηνύματα στους δέκτες καθώς και όλες τις μετρήσεις των αισθητήρων. Επιπλέον, δοκιμάσαμε να λειτουργήσουμε το δίκτυο μας τοποθετώντας μία εξωτερική τροφοδοσία, δηλαδή μπαταρία, παραπάνω πληροφορίες δίνονται στο επόμενο υποκεφάλαιο. Για την οντότητα κινητός πελάτης, το Arduino-uno είναι συνδεδεμένο μέσω ενός OTG καλωδίου στο κινητό ή tablet, από το οποίο τροφοδοτείται.



Η προσέγγιση μας εστιάζει στην χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, κυρίως όσον αφορά την οντότητα του Αισθητήρα, ώστε να είναι κατάλληλη για τοποθέτηση της σε δυσπρόσιτες τοποθεσίες. Το Arduino-uno λειτουργεί με τροφοδοσία 5 V, δεδομένου ότι υπάρχει απαίτηση από το αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα να λειτουργεί με τροφοδοσία 5 V. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας απαιτεί 3.3 V τροφοδοσία από το Arduino και ο αναμεταδότης RFM12B χρειάζεται 3.3 V. Στον Πίνακα 6 μπορούμε να δούμε πόση ενέργεια καταναλώνεται από το κάθε αντικείμενο του δικτύου ξεχωριστά. Έτσι, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η Οντότητα του Αισθητήρα σε κατάσταση αδράνειας καταναλώνει 454 mW και η Οντότητα του Κινητού Πελάτη καταναλώνει 397.6 mW.

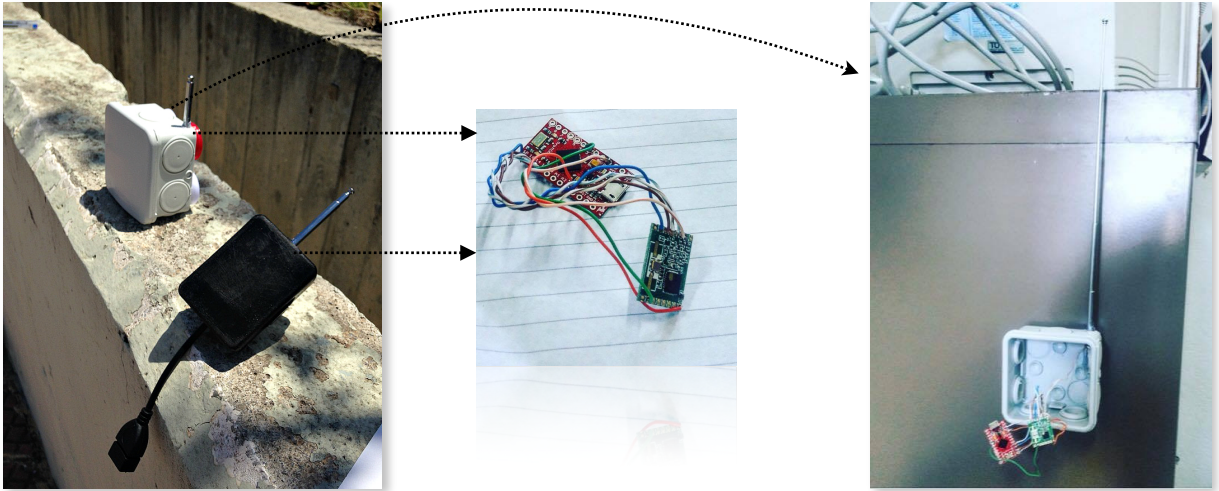
**Πίνακας 6. Κατανάλωση ενέργειας εργαλείων του δικτύου**

Εξοπλισμός Δικτύου	Κατανάλωση Ενέργειας (κατάσταση αδράνειας)
Arduino-uno (5 V)	282 mW
Αισθητήρας MG811 (5 V)	90 mW
Αισθητήρας DS18B20 (3.3 V)	6 mw
Μετάδοση αναμεταδότη RF12B	76 mW
Συλλογή δεδομένων, Ad-hoc επικοινωνία RF12B	39.6 mW

Τέλος, λόγω της μη ικανοποιητικής απόστασης που μπορεί να καλύψει ο αναμεταδότης RFM12B, προσπαθήσαμε να τον αντικαταστήσουμε με κάποιες νέες εκδόσεις αναμεταδοτών: RF69 [28], RF96 [29] ώστε το δίκτυο μας να μπορεί να καλύψει περισσότερη απόσταση μεταξύ των οντοτήτων του. Σαφώς έπρεπε να δημιουργήσουμε τις καινούριες οντότητες του δικτύου, να τις δοκιμάσουμε και να λάβουμε υπόψιν μας κάποιους σημαντικούς παράγοντες ώστε να καταλήξουμε στον κατάλληλο αναμεταδότη για το δίκτυο μας. Οι παράγοντες που έπαιξαν σημαντικό ρόλο ήταν η απόσταση και το RSSI (Received Signal Strength Indicator). Δυστυχώς ο αναμεταδότης RFM12B δε έχει την δυνατότητα να μετρήσει το RSSI, συνεπώς πραγματοποιήσαμε την μέτρηση RSSI για του άλλους 2 αναμεταδοτές.

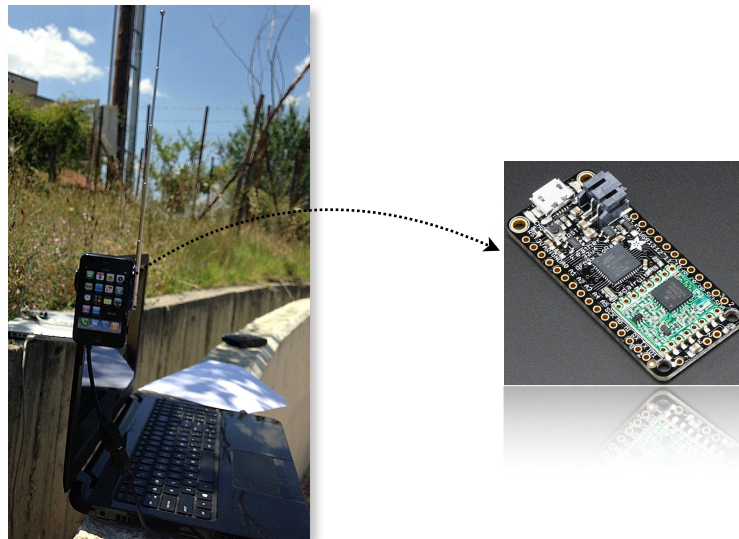
Αρχικά δημιουργήσαμε 2 οντότητες (πομπός, δέκτης) χρησιμοποιώντας τον αναμεταδότη RF69 για την επικοινωνία μεταξύ τους. Τον τοποθετήσαμε μέσα σ' ένα ειδικό κουτί με την κατάλληλη κεραία ώστε να μπορεί να μεταδίδει τα κατάλληλα πακέτα (Εικόνα 40). Επιπλέον,

στην Εικόνα 39 μπορούμε να δούμε τις 2 οντότητες ξεχωριστά, στο άσπρο κουτί βρίσκεται ο πομπός και στο μαύρο ο δέκτης.



**Εικόνα 39. Πομπός και Δέκτης με αναμεταδότη RF69, Εικόνα 40. Πομπός αναμεταδότη RF69**

Έπειτα, όσον αφορά τον αναμεταδότη RF96 (LoRa) ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία τοποθετώντας τον σε κουτάκι και δημιουργώντας 2 οντότητες μία του πομπού και μία του δέκτη. Σαφώς αυτή η έκδοση αναμεταδότη διατίθεται σε μικρότερο μέγεθος έτσι ήταν πολύ πιο εύκολο να τοποθετηθεί σε κουτί (Εικόνα 41).



**Εικόνα 41. Πομπός αναμεταδότη RF96**

Τα πειράματά μας διεξάχθηκαν στο χώρο του ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας στο τμήμα Διοίκησης Επιχειρήσεων στα Γρεβενά (Εικόνα 42). Ακολουθήσαμε το ίδιο σενάριο πειραμάτων, ο πομπός παρέμεινε σε σταθερό σημείο και μετακινήσαμε το δέκτη μετρώντας την απόσταση που μπορούν να καλύψουν καθώς καθώς και τον παράγοντα RSSI.



Εικόνα 42. Χώρος διεξαγωγής πειραμάτων

## 7.2 Μετρήσεις

Διεξάγοντας τα πειράματα που αναφέραμε στην προηγούμενη υποενότητα προσπαθήσαμε να μετρήσουμε την κατανάλωση ενέργειας του δικτύου καθώς και κάποιους σημαντικούς παραμέτρους του δικτύου όπως είναι : η Απώλεια Πακέτων, η Μέση Καθυστέρηση και η Ρυθμαπόδοση. Συνεπώς μετακινώντας τον δέκτη 10, 20, 30, 40 και 50 μέτρα μακριά από τον πομπό διεξήγαμε τα αποτελέσματα που βλέπουμε στον Πίνακα 7. Όπως βλέπουμε τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα, όσον αφορά την πρώτη παράμετρο, όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των 2 οντοτήτων τόσο αυξάνεται και ο αριθμός Απώλειας Πακέτων, το ίδιο συμβαίνει με τη Μέση Καθυστέρηση διότι όσο αυξάνεται η απόσταση τόσο πιο πολύ χρόνο χρειάζεται το πακέτο για να σταλθεί. Τέλος όσον αφορά την Ρυθμαπόδοση (5), κυμαίνεται μεταξύ 2373.5-1996.5 (bit/sec).

$$Bandwidth = \frac{Size\ of\ frame \cdot Number\ of\ sending\ Frames}{Transmission\ Time} \quad (5)$$

**Πίνακας 7. Μετρήσεις Δικτύου**

Απόσταση (meter)	Απώλεια Πακέτων (%)	Μέση Καθυστέρηση (sec)	Ρυθμαπόδοση (bit/sec)
10	0	0.08	2373.5
20	0	0.1	2362.3
30	3	0.15	2286.2
40	7	0.19	2187.6
50	15	0.22	1996.5

Επιπλέον τοποθετήσαμε μία μπαταρία των 700 mA στο Arduino ώστε να ελέγξουμε πως το πρωτόκολλο RF-Tania διαχειρίζεται την κατανάλωση ενέργειας σε αντίθεση με ένα Burst πρωτόκολλο. Έτσι τρέξαμε τα 2 πρωτόκολλα μέσω του δικτύου μας, χρησιμοποιώντας τις 2 οντότητες του δικτύου. Το Burst πρωτόκολλο έστειλε 4537 πλαίσια μέσω της οντότητας Αισθητήρα μέχρι να εξαντληθεί η μπαταρία του, σε αντίθεση με το RF-Tania πρωτόκολλο που έστειλε 6800 πλαίσια χρησιμοποιώντας την ίδια μπαταρία. Συνεπώς καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το πρωτόκολλο RF-Tania καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από ένα Burst πρωτόκολλο και καταφέρνει να στείλει 2263 περισσότερα πλαίσια.

Όσον αφορά τα πειράματα με τους 3 διαφορετικούς αναμεταδότες, όπου μετρήσαμε την απόσταση καθώς και τον παράγοντα RSSI όπως προανέφερα στο παραπάνω υποκεφάλαιο, πήραμε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 8. Παρατηρούμε ότι ο αναμεταδότης RFM12B καλύπτει την μικρότερη περιοχή καθώς μπορεί να εκπέμπει έως 50 μέτρα, ο αναμεταδότης RF69 έχει περιοχή κάλυψης 200 μέτρα, πράγμα που τον καθιστά μία ικανή επιλογή για το δίκτυο μας και για την χρήση του πρωτοκόλλου και ο αναμεταδότης RF96 έχει περιοχή κάλυψης περίπου 3.5 χιλιόμετρα, πράγμα το οποίο τον κάνει μη ικανή επιλογή για το δίκτυο μας καθώς δεν χρειαζόμαστε μία τόσο μεγάλη περιοχή κάλυψης. Όσον αφορά την παράμετρο RSSI κυμαίνεται σε πολύ καλύτερα πλαίσια για τον αναμεταδότη RF96 σε αντίθεση με τον αναμεταδότη RF69. Συνεπώς ο αναμεταδότης RF96 καταναλώνει λιγότερο ισχύ σε σχέση με τον αναμεταδότη RF96.

**Πίνακας 8. Μετρήσεις αναμεταδωτών: RFM12B, RF69, RF96**

Απόσταση (μέτρα)	RFM12B	RF69 (RSSI %)	RF96 (RSSI %)
20	V	58-59	34
40	V	64-65	39
50	V	68-69	-
60		74-72	41
80		75-76	46
100		77-79	52
120		80-81	49-50
140		81	52
160		90-91	62
180		96	57
190		95	-
200		94	58
210			71
300			82
400			63
600			74
800			90
1000			93-94
1400			90
1600			91
1800			92
2000			88
2200			89
2400			86
2600			83
2800			77
3000			78
3200			80
3400			82
3600			82

## 8. Επίλογος

---

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει καταγραφή όλων των συμπερασμάτων της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα γίνει επισήμανση ορισμένων παρατηρήσεων που έγιναν αντιληπτές κατά τη διάρκεια εκπόνησής της. Τέλος, θα γίνει παρουσίαση κάποιων προτεινόμενων μελλοντικών επεκτάσεων, οι οποίες θα μπορέσουν να βοηθήσουν στην περαιτέρω ανάπτυξη του δικτύου, της εφαρμογής καθώς και του πρωτοκόλλου RF-Tania.

### 8.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία παρουσιάσαμε και αναπτύξαμε μία νέα αρχιτεκτονική για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η οποία αποτελείται από 2 οντότητες: την οντότητα Αισθητήρας και την οντότητα Κινητός Πελάτης και ενδείκνυται για μετάδοση δεδομένων από αισθητήρες σε κινητούς πελάτες με κάλυψη μεσαίας ή μικρής μετάδοσης. Εξίσου σημαντικός παράγοντας είναι ότι προσέγγιση μας βασίζεται σε ένα χαμηλού κόστους και ανοιχτού κώδικα λογισμικό. Όσον αφορά την προτεινόμενη αρχιτεκτονική, ένα σύνολο 3 επιπέδων έχει υλοποιηθεί και παρουσιάζεται, το οποίο ονομάζεται πρωτόκολλο RF-Tania. Το πρωτόκολλο μας εμβαθύνει σε 3 βασικούς παράγοντες, στην μετάδοση των αισθητήριων δεδομένων, στην Ad-Hoc μετάδοση και στην μετάδοση έκτακτων μηνυμάτων σε περίπτωση υψηλού επιπέδου μετρήσεων. Ακόμα παρουσιάστηκε μία εφαρμογή Android, ώστε ο χρήστης να μπορεί να διαχειρίζεται το δίκτυο και να ενημερώνεται ανά πάσα στιγμή για τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα και της θερμοκρασίας.

Όσον αφορά τον εξοπλισμό του δικτύου, δυστυχώς η περιοχή κάλυψης του αναμεταδότη RFM12B, που χρησιμοποιήσαμε, είναι 50-55 μέτρα, γεγονός που μας οδήγησε να δοκιμάσουμε και άλλους RF αναμεταδότες. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήσαμε τον αναμεταδότη RF69, ο οποίος έχει περιοχή κάλυψης 200 μέτρα και τον αναμεταδότη RF96, ο οποίος έχει περιοχή κάλυψης 3.5 χιλιόμετρα. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που διεξήγαμε από τα πειράματα ο αναμεταδότης RFM12B πρέπει να αντικατασταθεί με τον αναμεταδότη RF69 ώστε να καλυφθεί η απαραίτητη απόσταση μεταξύ των οντοτήτων. Σαφώς και η περιοχή κάλυψης του RF96 ήταν μεγαλύτερη αλλά δεν ενδείκνυται για το δίκτυο μας. Ο

αναμεταδότης RF96 ενδείκνυται για άλλες εφαρμογές που θέλουν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις.

Αξίζει να αναφερθεί ότι ύστερα από τα πειράματα που διεξήγαμε το πρωτόκολλο RF-Tania πετυχαίνει 33% καλύτερη διαχείριση ενέργειας σε σύγκριση με ένα απλό Burst πρωτόκολλο. Ακόμα μέσω των πειραμάτων μπορούμε να δούμε την επιτυχημένη λειτουργία του πρωτοκόλλου RF-Tania καθώς όλα τα αποτελέσματα που διεξάχθηκαν ήταν αναμενόμενα.

Τέλος, η βασική ιδέα του συγκεκριμένου συστήματος ελέγχου καθώς και πρωτοκόλλου επικοινωνίας πραγματοποιήθηκε με σκοπό να βοηθηθούν οι εργαζόμενοι της ΔΕΗ και να μπορούν να ελέγχουν ανά πάσα στιγμή τα επίπεδα ρύπων καθώς και θερμοκρασίας μέσα στο εργασιακό περιβάλλον.

## 8.2 Μελλοντικές Επεκτάσεις

Η αρχιτεκτονική του δικτύου, το πρωτόκολλο RF-Tania καθώς και η εφαρμογή “Eco-Ecotroller” σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν με σκοπό να διευκολυνθούν οι εργάτες της ΔΕΗ δίνοντας τους την δυνατότητα να ελέγχουν ανά πάσα στιγμή τα επίπεδα ρύπων καθώς και θερμοκρασίας μέσα στο εργασιακό περιβάλλον καθώς επίσης και να ενημερώνονται σε περίπτωση υψηλού επιπέδου ρύπων από το ίδιο το σύστημα. Παρά το γεγονός ότι το δίκτυο μας, το πρωτόκολλο RF-Tania και η εφαρμογή “Eco-Controller” πληροί τις προδιαγραφές του συστήματος, οι μελλοντικές επεκτάσεις του συστήματος είναι αναγκαίες ώστε να υπάρχει περαιτέρω ανάπτυξή τους.

Αρχικά η βελτιστοποίηση του δικτύου αποτελεί πρωταρχικό στόχο ως μελλοντική επέκταση. Θα πρέπει να πραγματοποιηθούν παραπάνω πειράματα προσθέτοντας περισσότερους Κινητούς Πελάτες στο δίκτυο μας ώστε να έχουμε μία καθαρή εικόνα για το πως θα λειτουργήσει το δίκτυο μας σε τέτοιες περιπτώσεις. Ακόμα ο αναμεταδότης RFM12B πρέπει να αντικατασταθεί με τον αναμεταδότη RF69 ώστε να καλυφθεί περισσότερη απόσταση μεταξύ του Κινητού Πελάτη και του πομπού.

Όσον αφορά την εφαρμογή “Eco-Controller” θα μπορούσαν να προστεθούν περισσότερες λειτουργίες καθώς και περισσότερες οθόνες της εφαρμογής. Η τοπική βάση δεδομένων εμποδίζει κάποιες λειτουργίες γι’ αυτό τον λόγο θα πρέπει να αντικατασταθεί με μία online βάση δεδομένων και έναν server, μέσω των οποίων ο διαχειριστής θα μπορεί να ελέγχει τα

δεδομένα καθώς και οι γραφικές παραστάσεις θα έχουν την δυνατότητα να ενημερώνονται συχνότερα με πιο ρεαλιστικά δεδομένα. Ακόμα ένα τέτοιο σύστημα θα είναι πιο εύχρηστο για τον χρήστη και κυρίως για κάποιον ανώτερο του επιθυμεί να ελέγχει τα επίπεδα του διοξειδίου ανά πάσα στιγμή.

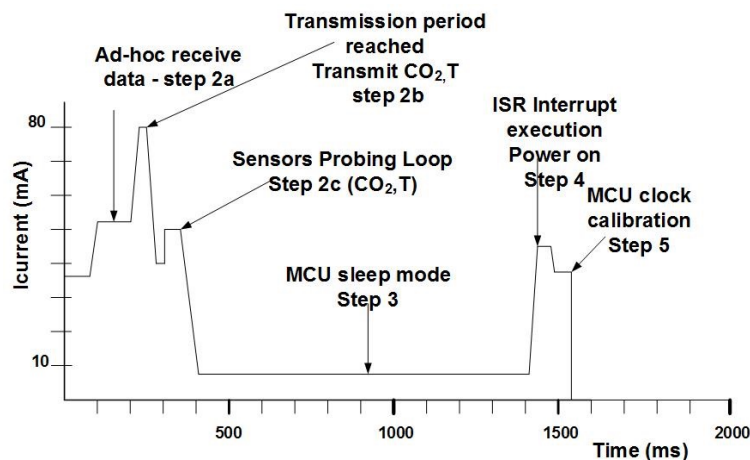
Το παρόν σύστημα ελέγχου θα μπορούσε να αποτελέσει μία ενδεικτική μελλοντική λύση για τα εργοστάσια της ΔΕΗ της περιοχής μας ώστε να προστατεύσουμε τους εργαζόμενους από την έκθεση τους σε υψηλό επίπεδο ρύπων. Συνεπώς θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε το κουτάκι του Κινητού Πελάτη σ' ένα περιβραχιόνιο το οποίο θα φοράνε οι εργάτες. Η κύρια λειτουργία του θα είναι να καταγράφει τις μετρήσεις του διοξειδίου του άνθρακα ώστε όταν ξεπερνάει τα επιτρεπτά επίπεδα σε συνδυασμό με το αν ο εργάτης έχει εκτεθεί σε υψηλό επίπεδο διοξειδίου του άνθρακα πολλαπλές φορές τότε θα ενημερώνεται ο διευθυντής ή κάποιος ανώτερος γι' αυτήν την κατάσταση μέσω του συστήματος μας και ο εργάτης θα μπορέσει να πάρει άδεια.

Τέλος, για την εξικονόμηση ενέργειας του δικτύου μας προτείνουμε ένα αλγόριθμος χαμηλής κατανάλωσης ισχύος για την οντότητα Αισθητήρα (Εικόνα 43). Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος αποτελείται από 5 κύρια βήματα:

- ❖ Βήμα 1α—Set up: Το Arduino απενεργοποιεί τον μετρητή watchdog και αρχικοποιεί τον timer0 και τις παραμέτρους μετάδοσης του αναμεταδότη RFM12B. Ο μετρητής της περιόδου  $T_{sc}$  ορίζεται ίσος με 0 και η παράμετρος millis() ορίζεται ίση με 5000 ms (5s).
- ❖ Βήμα 1β—Κύριος βρόγχος αισθητήρα: Αυτό το βήμα σηματοδοτεί την εκκίνηση την συλλογής μετρήσεων από τους αισθητήρες, η οποία επαναλαμβάνεται κάθε περίοδο  $T_{sc}=2sec$ .
- ❖ Βήμα 2α—Έλεγχος για Ad-Hoc αιτήματα: Το Arduino ενεργοποιεί τον πομποδέκτη για 100 msec, με σκοπό να ελέγξει για τυχόν αιτήματα από τον χρήστη. Εάν υπάρχει αίτημα, τότε μεταδίδει το απαραίτητο πακέτο στον αιτόν κόμβο.
- ❖ Βήμα 2β—Έλεγχος περιόδου  $T_p$ : Το Arduino ελέγχει εάν η περίοδος  $T_p$  έχει ξεπεράσει το όριο της ( $T_p=30 sec$ ). Εάν έχει ξεπεραστεί το όριο, τότε ανοίγει μία I2C επικοινωνία με το τσιπ EEPROM [45], διαβάζοντας τις προηγούμενες μετρήσεις και πραγματοποιώντας αύξηση ή μείωση της περιόδου  $T_p$ .



- ❖ Βήμα 2γ—Αισθητήριος βρόγχος ελέγχου: Εάν το  $T_p=30$  sec, το Arduino εισέρχεται σ' ένα βρόγχο, καθορίζει την συχνότητα ADC στα 125 KHz και εκτελεί διαδοχικά 96 μετρήσεις από τον αισθητήρα διοξειδίου του άνθρακα και 96 μετρήσεις από τον αισθητήρα θερμοκρασίας σε περίπου 2 msec. Η ολοκλήρωση του χρόνου και τα αποτελέσματα μέσου όρου πραγματοποιούνται και αποθηκεύονται στο εξωτερικό EEPROM τσιπ [45].
- ❖ Βήμα 3—Κατάση ύπνου Arduino: Ο μετρητής watchdog έχει οριστεί για χρόνο 1 sec, έχοντας ενεργοποιημένη την παράμετρο interrupt1. Το Arduino βρίσκεται σε κατάσταση απενεργοποίησης και τα pins του τίθενται σε χαμηλά επίπεδα λειτουργίας.
- ❖ Βήμα 4—Επαναφορά Arduino: Η παράμετρος interrupt1 απενεργοποιείται καθώς και ο μετρητής watchdog. Το Arduino επανέρχεται σε κατάσταση λειτουργίας.
- ❖ Βήμα 5—Βαθμονόμηση ρολογιού MCU: Σε αυτό το βήμα σηματοδοτείται το τέλος του βρόγχου. Ακόμα ο μετρητής millis ορίζεται ως  $\text{millis}()+1000-8$  και η περίοδος  $T_{sc}$  τίθεται ίση με  $(\text{millis}()-5000)/100$ . Τέλος ο βρόγχος συνεχίζεται από το βήμα 2α.



Εικόνα 43. Διαχείριση ενέργειας οντότητας Αισθητήρα για περίοδο  $T_p$ .

---

## Βιβλιογραφία

---

1. De-Li Yang, Feng Liu, Yi-Duo Liang, “A Survey of the Internet of Things”, The 2010 International Conference on E-Business Intelligence, p. 358-359, Δεκέμβριος 2010.
2. SAS Institute Inc., “*Internet of Things (IoT) Τι είναι και γιατί είναι σημαντικό*”, Διαθέσιμο: [http://www.sas.com/el\\_gr/insights/big-data/internet-of-things.html](http://www.sas.com/el_gr/insights/big-data/internet-of-things.html), Τελευταία επίσκεψη: Ιούλιος 2016.
3. Informatix, “*Internet of Things (IoT)*”, Available: <http://informatix.gr/index.php/iot-internet-of-things>, Τελευταία επίσκεψη: Ιούλιος 2016.
4. Intersog, “Development of the Internet of Things (IoT)”, Διαθέσιμο: <http://iot.intersog.com>. Τελευταία επίσκεψη: Ιούλιος 2016.
5. Ellinidou Sultana, Kontogiannis Sotirios, & Kokkonis George, “RF low energy monitoring protocol and system architecture for location based sensor measurements”, *Proceedings of the SouthEast European Design Automation, Computer Engineering, Computer Networks and Social Media Conference*, pp. 60-65, ACM, Σεπτέμβριος 2016
6. Ellinidou Sultana, Kontogiannis Sotirios, & Kokkonis George, “RF-Tania protocol and system architecture for location based sensor measurements”, *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Vol. 8, pages 1067–1074*, IEEE, Σεπτέμβριος 2016
7. Z. A. Eu, H-P. Tan, and W. K. G. Seah, “Design and performance analysis of MAC schemes for wireless sensor networks powered by ambient energy harvesting”. *Ad Hoc Networks*, vol. 9, no. 3, ISSN 1570-8705, pp. 300-323, 2011.
8. Song, Wen-Miao, Yan-Ming Liu, and S-E. Zhang. “Research on SMAC protocol for WSN.” *International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, IEEE, pp. 1-4, 2008.
9. Song, Jianping, S. Han, A. Mok, D. Chen, M. Lucas M. Nixon and W. Pratt, “WirelessHART: Applying wireless technology in real-time industrial process control.” *Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium*, IEEE, pp. 377-386, 2008
10. P. Nintanavongsa, M.Y. Naderi, and K. R. Chowdhury, “A Dual-band Wireless Energy Transfer Protocol for Heterogeneous Sensor Networks Powered by RF Energy Harvesting”. *International Conference on Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, IEEE , pp.400-405, Σεπτέμβριος 2013.
11. RadioPulse LM2470/2475 RF4CE Technical Specification Datasheet, Διαθέσιμο: <http://www.radiopulse.co.kr/>, 2015.

12. Microchip Application Notes, “AN1283: Microchip Wireless Media Access Controller MiMAC”, “AN1284: Microchip Wireless Application Programming Interface MiApp” and “AN1066: Microchip Wireless Networking Protocol Stack MiMAC”, <http://www.microchip.com/miwi>, 2011.
13. T. Lennvall, S. Svensson and F. Hekland, “A comparison of WirelessHART and ZigBee for industrial applications”, IEEE International workshop on Wireless Factory Communication Systems, pp. 85-88, 2008.
14. MCUs, ZigBee, “Freescale Product Brief and development kits MC132X”, Διαθέσιμο: [http://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/download/46712-2-98858/MC13242\\_RFFS.pdf](http://www.element14.com/community/servlet/JiveServlet/download/46712-2-98858/MC13242_RFFS.pdf), 2010.
15. <https://www.element14.com/community/docs/DOC-46713/1/freescale-introduces-scalable-kinetis-wireless-solutions-for-zigbee-smart-energy-version-20>
16. C. Gomez, J. Oller and J. Paradells, “Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy: An Emerging Low-Power wireless technology.”, Sensors Journal, vol. 12, no. 9, ISSN 1424-8220, pp. 11734-11739, 2012.
17. Nordic Semiconductor, “Multiprotocol Bluetooth low energy /2.4GHz RF System on Chip - nRF51822 product specification”, [https://www.nordicsemi.com/.../nRF51822\\_PS v3.1.pdf](https://www.nordicsemi.com/.../nRF51822_PS_v3.1.pdf)
18. 802.15.4, Part 15.4, “Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low- Rate Wireless Personal Area Networks (LRWPANs)”.
19. ZigBee Alliance, “ZigBeeRFCE specification: ZRC profile. Version 2.0 ZigBee”, <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeerf4ce/>, 2014.
20. P. Rohitha, P. R. Kumar, N. Adinarayana and V.N. Rao, “Wireless Networking Through ZigBee Technology”, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Soft. Eng. IJARCSSE, ISSN 2277-128X, vol. 2, no. 7, pp. 49-54, 2012.
21. ZigBee Alliance, “ZigBee RFCE specification: ZigBee v.1.0”, <http://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/network-specifications/zigbeerf4ce/094945r00ZB>, 2010.
22. E. Karapistoli, F.N. Pavlidou, I. Gragopoulos and I. Tsetsinas, “An overview of the IEEE 802.154a standard”, IEEE Communications Magazine, ISSN 0163-6804, pp.47-52, Ιανουάριος 2010.
23. WG802.15 - Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group, “802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, IEEE standard, 2011.
24. WG802.15- Wireless Personal Area Network (WPAN) Working Group, “802.15.4-2015 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)”, IEEE standard 2015.

25. I. Howitt, J. A. Gutierrez, “IEEE 802.15.4 low rate - wireless personal area network coexistence issues”, *Wireless Communications and Networking*, ISSN 1525-3511, vol. 3, pp. 1481- 1486, 2003.
26. HOPERF Microelectronics CO, Ltd., Available: <http://www.hoperf.com>, Last accessed, Αύγουστος 2016.
27. HOPERF, “RFM12B Universal ISM Band FSK Transceiver”, Διαθέσιμο: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM12B.pdf>, 2012.
28. HOPERF, “RFM69CW ISM TRANSCEIVER MODULE”, Διαθέσιμο: <http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM69CW-V1.1.pdf>, 2015.
29. HOPERF, “RFM95/96/97/98(W) Low Power Long Range Transceiver Module”, Διαθέσιμο: [http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM95\\_96\\_97\\_98W.pdf](http://www.hoperf.com/upload/rf/RFM95_96_97_98W.pdf), 2016.
30. WIKIMEDIA, “Arduino-uno perspective transparent”, Διαθέσιμο: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arduino-uno-perspective-transparent.png>
31. Εμμανουήλ Πουλάκης , “*Προγραμματίζοντας με τον μικροελεγκτή Arduino*”, Διαθέσιμο: <http://users.sch.gr/manpoul/docs/arduino/ProgrammingArduino.pdf>, Ιανουάριος 2015
32. Arduino, “*Arduino UNO & Genuino UNO*”, Διαθέσιμο: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>, Τελευταία επίσκεψη: Σεπτέμβριος 2016.
33. Arduino, <https://www.arduino.cc>, Τελευταία επίσκεψη: Σεπτέμβριος 2016
34. Arduino. “*Buy from Resellers*”, Διαθέσιμο: <https://www.arduino.cc/en/Main/Buy>, Τελευταία επίσκεψη: Σεπτέμβριος 2016.
35. Evans Brian, “*Beginning Arduino Programming*”, Apress, 2011
36. SEMICONDUCTOR, Dallas, “DS18B20 Programmable Resolution”, Διαθέσιμο: <http://www.dalsemi.com>, 2007.
37. Sandbox Electronics, “MG-811 CO2 Sensor Module”, Διαθέσιμο: <http://sandboxelectronics.com/?p=147>, 2011
38. Zapata, Belén Cruz, “*Android studio application development*”, Packt Publishing Ltd, 2013.
39. Παναγιώτης Παπάζογλου, Σπύρος-Πολυχρόνης Λιωνής, “*Ανάπτυξη εφαρμογών με το Arduino*”, Εκδόσης Τζιόλας, 2014.
40. Jean-Claude Wippler, “*JeeLib for Arduino IDE: Ports, RF12 and RF69 drivers*”, Διαθέσιμο: <https://github.com/jcw/jeelib>, 2012
41. Jeelabs, “*RF12B MAC protocol*”, <http://Jeelabs.org>, 2013.
42. SQLite, <https://sqlite.org/about.html>, 2000
43. Felipe Herranz, UsbSerial library, Διαθέσιμη: <https://felhr85.net/> , 2011

44. Dan Dromereschi, RenWenshan, AChartEngine library, Διαθέσιμο: <https://github.com/ddanny/achartengine>, 2009
45. Atmel, “2-wire Serial EEPROMs”, Διαθέσιμο: [www.smartrobots.pl/download/AT24C256.pdf](http://www.smartrobots.pl/download/AT24C256.pdf), 2012.