



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για
απομακρυσμένη παρακολούθηση**
(Με μια εφαρμογή στο κλάδο της μελισσοκομίας)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ Γ. ΖΩΓΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων: Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Δίκτυο ασύρματων αισθητήρων για
απομακρυσμένη παρακολούθηση**
(Με μια εφαρμογή στο κλάδο της μελισσοκομίας)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΥ ΖΩΓΟΠΟΥΛΟΥ

Επιβλέπων: Ευστάθιος Συκάς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 18^η Μαρτίου 2016.

.....

Ευστάθιος Συκάς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Μιχαήλ Θεολόγου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Στασινόπουλος

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

.....
Αναστάσιος Γ. Ζωγόπουλος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © ΖΩΓΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ, 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.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό την σχεδίαση και υλοποίηση ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN) με εφαρμογή στον κλάδο της μελισσοκομίας. Ένα σύνολο κόμβων με συνδεδεμένους αισθητήρες (Endevices) αναλαμβάνουν την καταγραφή φυσικών μεγεθών. Ο κεντρικός κόμβος (Gateway) είναι υπεύθυνος για την δημιουργία και συγχρονισμό του δικτύου. Η εφαρμογή του στο κλάδο της μελισσοκομίας δίνει την δυνατότητα στον μελισσοκόμο της απομακρυσμένης παρακολούθησης του μελισσοκομείου του από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου. Η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας των WSN's στα 2.4GHz βοηθά στην παρακολούθηση όλου του μελισσοκομείου με πολύ μικρό κόστος.

Αρχικά, γίνεται μια παρουσίαση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, των βασικών αρχών σχεδιασμού που τα διέπουν και των μοντέλων λειτουργίας. Παράλληλα αναλύεται η τοπολογία και η αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν τα συγκεκριμένα δίκτυα.

Έπειτα, παρουσιάζεται ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών για τις οποίες είναι κατάλληλα τα ασύρματου δίκτυα αισθητήρων. Μερικές από τις περιοχές εφαρμογής είναι η υγεία, ο στρατός και η ασφάλεια.

Στη συνέχεια, αναλύεται ο μικροελεγκτής nRF24LE1 με όλα τα βασικά χαρακτηριστικά του. Οι δυνατότητές του τον κάνουν ιδανικό για την χρήση του σε WSN's. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον RF πομποδέκτη του nRF24LE1 και ειδικά στην λειτουργία Enhanced ShockBurst™.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι αισθητήρες της εφαρμογής. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούμε είναι αισθητήρες βάρους, υγρασίας και θερμοκρασίας. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων, καθώς και το κύκλωμα nRF24LE1-αισθητήρες μαζί με το πρόγραμμα λειτουργίας για την ανάγνωση των τιμών τους.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται όλα τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη και την ολοκλήρωση της εφαρμογής, και σε hardware άλλα και σε software επίπεδο. Τελικά, παρουσιάζεται η λειτουργία των βασικών κυκλωμάτων (Gateway- Endevices) καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του ασύρματου δικτύου.

Τέλος, γίνεται αναλυτική παρουσίαση της εφαρμογής. Τοποθετώντας τους αισθητήρες στην κυψέλη μπορούμε να πάρουμε άμεσα πληροφορίες για το βάρος την υγρασία και την θερμοκρασία που επικρατούν. Οι πληροφορίες αυτές, σε συνδυασμό με την εποχή και την εμπειρία του μελισσοκόμου, δίνουν μια πλήρη εικόνα της κατάστασης των μελισσοσμηνών. Ο μελισσοκόμος είναι πλέον σίγουρος για την πορεία και την κατάσταση των μελισσοσμηνών του. Μπορεί να προγραμματίζει τις εργασίες του χωρίς να χάνει χρόνο αλλά και χρήμα σε άσκοπες μετακινήσεις. Τέλος, με την άμεση ενημέρωσή του στις περιόδους μελιτεκρίσεων μπορεί να παίρνει σημαντικές αποφάσεις για την αύξηση των κερδών του.

Λέξεις-κλειδιά

Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, Κυψέλη, Keil, ULP, DHT11, HX711, DS18B20, nRF24LE1, GSM, WSN

Abstract

The following diploma thesis, aims to design and implement a WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) with application in beekeeping. A set of nodes with connected sensors (ENDEVICES) undertake the registration of physical quantities. The central node (GATEWAY) is responsible for the creation and synchronization of the network. This implementation in the beekeeping industry, enables the beekeeper to remotely monitor the apiary from anywhere around the world. The use of the wireless technology WSN's 2.4GHz helps monitor the entire apiary at an affordable cost.

Initially, there is a presentation of wireless sensor networks, the basic concepts underlying principles and operating models. At the same time, the topology and architecture of these specific networks, is being resolved.

Then, a large number of applications for which the wireless sensor networks are suitable, is presented. Some of the application areas are health, army and security.

Afterwards, the microcontroller nRF24LE1 with all its basic features is being analyzed. Its capabilities make it ideal for use in WSN's. Particular emphasis is placed on the RF transceiver of nRF24LE1, especially in Enhanced ShockBurst™ function.

Of particular interest are the application sensors. The sensors used are weight, humidity and temperature sensors. In this chapter, the main characteristics of the sensors and the nRF24LE1-sensor circuit are presented, with a mode for reading their values.

The sixth chapter presents all the basic tools used for the development and completion of the application, in both hardware and software level. Eventually, it shows the operation of basic circuits (Gateway- Devices) and the way the wireless network works.

Finally, there is a detailed presentation of the application. By placing sensors in the hive we can get immediate information on weight, moisture and temperature. This information, combined with the particular season and experience of the beekeeper, give a complete picture of the situation of beehives. The beekeeper is more confident about the progress and status of the beehive. He can work without losing time and money on unnecessary travel. Finally, with immediate information on periods of honey secretion, he can take important decisions and increase his profits.

Keywords

Wireless Sensor Networks, Bee Cell, Keil, ULP, DHT11, HX711, DS18B20, nRF24LE1, GSM, WSN

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Ευστάθιο Συκά που μου εμπιστεύτηκε και μου ανέθεσε την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς επίσης και στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Απόστολο Κοτοπούλη για την αμέριστη υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις πολύτιμες συμβουλές που τόσο γενναιόδωρα μου παρείχαν καθόλη την διάρκεια της εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση, τη συμπαράσταση και τη στήριξή τους καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στην φίλη μου, στους συμφοιτητές και φίλους που με στήριξαν με το ενδιαφέρον και την αγάπη τους.

Περιεχόμενα

Περίληψη	6
Abstract.....	7
Ευχαριστίες.....	8
Κατάλογος εικόνων	12
Υπόμνημα.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	15
Εισαγωγή	15
1.1 Πρόλογος.....	15
1.2 Σκοπός	15
1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	17
Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων -WSN	17
2.1 Εισαγωγή	17
2.2 Μοντέλα λειτουργίας για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων	19
2.3 Αρχές σχεδιασμού ασύρματων δικτύων.....	19
2.3.1 Αντοχή πρωτοκόλλων σε σφάλματα - δυσλειτουργίες κόμβων.....	20
2.3.2 Επεκτασιμότητα λειτουργίας σε μεγάλο πλήθος κόμβων	20
2.3.3 Χαμηλό κόστος παραγωγής.....	21
2.3.4 Δυνατότητα επικοινωνίας	21
2.3.5 Κατανάλωση ενέργειας	21
2.3.6 Κάλυψη.....	22
2.3.7 Δυνατότητα αίσθησης.....	22
2.3.8 Δυνατότητα Επεξεργασίας Δεδομένων.....	23
2.3.9 Προσαρμογή στο περιβάλλον λειτουργίας	23
2.3.10 Συντήρηση δικτύου	24
2.3.11 Ασφάλεια.....	24
2.4 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων.....	24
2.4.1 Τοπολογία Αστέρα	25
2.4.2 Τοπολογία Δένδρου	25
2.4.3 Mesh Τοπολογία	26

2.4.4	Τοπολογία Διαύλου	27
2.4.5	Τοπολογία Βρόχου	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ	3	29
Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων		29
3.1	Εισαγωγή	29
3.2	Πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων	30
3.3	Εφαρμογές	30
3.3.1	Περιβαλλοντικές εφαρμογές	31
3.3.2	Γεωργικές εφαρμογές	33
3.3.3	Εφαρμογές πρόληψης καταστροφών και παροχής βοήθειας	33
3.3.4	Οικιακές εφαρμογές	34
3.3.5	Βιομηχανικές εφαρμογές	35
3.3.6	Εφαρμογές στην υγεία	35
3.3.7	Εφαρμογές στις συγκοινωνίες	36
3.3.8	Εφαρμογές επιτήρησης	36
3.3.9	Στρατιωτικές εφαρμογές	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ	4	39
Ο μικροελεγκτής nRF24LE1		39
4.1	Εισαγωγή	39
4.2	Βασικά χαρακτηριστικά του nRF24LE1	39
4.2.1	Ultra low power consumption	40
4.2.2	2.4GHz Radio	40
4.2.3	Enhanced ShockBurst™ hardware protocol accelerator	40
4.2.4	Processor and Memory	40
4.2.5	Oscillators and Timers	41
4.2.6	System Peripherals	41
4.2.7	Digital I/O	41
4.2.8	Analog I/O	41
4.2.9	GPIO	41
4.2.10	Power supply	41
4.2.11	Package options	41
4.3	RF πομποδέκτης	42

4.3.1	Βασικά χαρακτηριστικά πομποδέκτη	42
4.3.2	Καταστάσεις λειτουργίας πομποδέκτη	43
4.3.3	Power Down Mode.....	44
4.3.4	Standby-I mode	44
4.3.5	Standby-II mode	44
4.3.6	RX mode.....	44
4.3.7	TX mode	44
4.3.8	Enhanced ShockBurst™	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ	5	51
Αισθητήρια και περιφερειακά κυκλώματα		51
5.1	Εισαγωγή	51
5.2	Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20.....	51
5.2.1	Ανάγνωση της θερμοκρασίας από το DS18B20.....	54
5.3	Αισθητήρας υγρασίας DHT11.....	57
5.3.1	Ανάγνωση της υγρασίας από το DHT11	58
5.4	Αισθητήρας βάρους και HX711 weight sensor module	61
5.4.1	HX711 weight sensor module	61
5.4.2	Ανάγνωση του βάρους από το HX711	62
5.5	Το nRF24LE1 με τους αισθητήρες συνδεδεμένους	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ	6	67
Υλοποίηση του WSN.....		67
6.1	Εισαγωγή	67
6.2	Περιβάλλον ανάπτυξης μVision4 της Keil και ο mPro downloader.....	68
6.3	Gateway.....	72
6.3.1	Ανάλυση λειτουργίας Gateway.....	73
6.4	Endevices	76
6.4.1	Ανάλυση λειτουργίας Endevices	77
6.5	Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε γρήγορη λειτουργία και η εμφάνιση των δεδομένων που λαμβάνει ο Gateway στο τερματικό.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ	7	85
Η εφαρμογή		85
7.1	Εισαγωγή	85

7.2	Οι αισθητήρες στην παρακολούθηση μιας κυψέλης	86
7.2.1	Αισθητήρας θερμοκρασίας.....	86
7.2.2	Αισθητήρας υγρασίας	87
7.2.3	Αισθητήρας βάρους	87
7.3	Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε κανονική λειτουργία και η εμφάνιση των δεδομένων των κυψελών με SMS στο χρήστη.....	88
7.3.1	Η επικοινωνία με το δίκτυο	89
7.3.2	Υπολογισμός συνολικού κόστους υλικού	91
	Βιβλιογραφία	92

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1:	Συνεργατική λειτουργία κόμβων.....	18
Εικόνα 2:	Τοπολογία αστέρα	25
Εικόνα 3:	Τοπολογία δένδρου.....	26
Εικόνα 4:	Τοπολογία Mesh	26
Εικόνα 5:	Τοπολογία Διαύλου.....	27
Εικόνα 6:	Τοπολογία Βρόχου	27
Εικόνα 7:	Κατηγοριοποίηση εφαρμογών δικτύων αισθητήρων.....	31
Εικόνα 8:	Παρακολούθηση ηφαιστείου με ασύρματο δίκτυο αισθητήρων	32
Εικόνα 9:	Εφαρμογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων στην αμπελοργία	33
Εικόνα 10:	Παρακολούθηση καταπόνησης wsn σε γέφυρα	34
Εικόνα 11:	Εφαρμογές wsn στην ιατρική.....	36
Εικόνα 12:	126 ανεξάρτητα κανάλια συχνότητων.....	42
Εικόνα 13:	Διάγραμμα καταστάσεων πομποδέκτη	43
Εικόνα 14:	Πομπός (PTX) με την λειτουργία Enhanced ShockBurst™	46
Εικόνα 15:	Πομπός (PRX) με την λειτουργία Enhanced ShockBurst™	47
Εικόνα 16:	Δομή του πακέτου Enhanced ShockBurst™	48
Εικόνα 17:	DS18B20.....	52
Εικόνα 18:	Block διάγραμμα του DS18B20	52
Εικόνα 19:	Καταχωρητής θερμοκρασίας DS18B20.....	53
Εικόνα 20:	Δομή της μνήμης DS18B20.....	54
Εικόνα 21:	Τρόπος διασύνδεσης DS18B20	54
Εικόνα 22:	Διάγραμμα αρχικοποίησης DS18B20.....	55
Εικόνα 23:	Διαγράμματα χρονισμού εγγραφής και ανάγνωσης από το DS18B20	56
Εικόνα 24:	DHT11.....	57
Εικόνα 25:	Σύνδεση του DHT11 με τον μικροελεγκτή.....	58
Εικόνα 26:	Format δεδομένων DHT11.....	58
Εικόνα 27:	Συνολική διαδικασία επικοινωνίας με το DHT11	59
Εικόνα 28:	Αποστολή σήματος εκκίνησης στο DHT11	59
Εικόνα 29:	Αποστολή λογικού μηδέν από το DHT11	60

Εικόνα 30: Αποστολή λογικού ένα από το DHT11	60
Εικόνα 31: Αριστερά το load cell, δεξιά το HX711	61
Εικόνα 32: Σύνδεση του HX711 με το load cell	62
Εικόνα 33: Κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης	62
Εικόνα 34: Έξοδος δεδομένων, επιλογή καναλιού και κέρδους	63
Εικόνα 35: Κανάλι εισόδου και επιλογή κέρδους	63
Εικόνα 36: Το nRF24LE1 με τους αισθητήρες και το τερματικό	64
Εικόνα 37: Το Terminal εμφανίζει βάρος, υγρασία και θερμοκρασία	65
Εικόνα 38: Αριστερά ο Gateway, δεξιά τα Endevices	67
Εικόνα 39: Το περιβάλλον μVision4 της Keil	68
Εικόνα 40: Οι επιλογές του debugger της Keil	69
Εικόνα 41: Οι επιλογές peripherals	70
Εικόνα 42: Ο mPro downloader	70
Εικόνα 43: Σύνδεση mPro downloader με την βάση του nRF24LE1	71
Εικόνα 44: Το πρόγραμμα mPro 1.6	71
Εικόνα 45: Αριστερά το nRF24LE1 με το SIM900, δεξιά συνδεδεμένο με το τερματικό	72
Εικόνα 46: Η ακολουθία εκτέλεσης των tasks στον Gateway	75
Εικόνα 47: Αριστερά το Endevise με όλους τους αισθητήρες, δεξιά το σύνολο των Endevices με τους αισθητήρες υγρασίας DHT11	76
Εικόνα 48: Η ακολουθία εκτέλεσης των tasks στο Endevise	79
Εικόνα 49: Το WSN με το Gateway συνδεδεμένο στο τερματικό	80
Εικόνα 50: Ο Gateway κάνει «join» με τα Endevices	81
Εικόνα 51: Ο Gateway στέλνει μήνυμα εκκίνησης στα Endevices	81
Εικόνα 52: Ο Gateway ενημερώνεται για την πάροδο των 4ων λεπτών	82
Εικόνα 53: Ο Gateway λαμβάνει και εκτυπώνει στο τερματικό τις μετρήσεις	82
Εικόνα 54: Ο Gateway ξαναρχίζει την διαδικασία αναζήτησης των Endevices	83
Εικόνα 55: Το δίκτυο κυψελών, ο μελισσοκόμος ενημερώνεται με SMS	86
Εικόνα 56: Οι αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη	87
Εικόνα 57: Ο αισθητήρας βάρους στη βάση της κυψέλης	88
Εικόνα 58: Το WSN με το Gateway συνδεδεμένο στο GSM πομποδέκτη αριστερά, ο Gateway δεξιά	89
Εικόνα 59: Ερώτηση για την κυψέλη 0 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 0	90
Εικόνα 60: Ερώτηση για την κυψέλη 2 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 2	90
Εικόνα 61: Ερώτηση για την κυψέλη 3 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 3	91

Υπόμνημα

AES	Advanced Encryption Standard
ADC	Analog to Digital Converter
BSN	Body Sensor Network
CRC	Cyclic Redundancy Check
FIQ	Fast Interrupts Service
FFD	Full Function Device
GSM	Global System for Mobile Communications
GPIO	General Purpose Input/Output
GPS	Global Positioning System
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ID	Identity
IRAM	Internal RAM
LSB	Least Significant Bit
MSB	Most Significant Bit
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems
PTX	Primary Transmitter
PID	Process identifier
PRX	Primary Transmitter
PRX	Primary Receiver
PC	Personal computer
PGA	Programmable-Gain Amplifier
QoS	Quality of Service
RAM	Random Access Memory
RTC	Real-Time Clock
ROM	Read Only Memory
RF	Radio Frequency
RFD	Reduced Function Device
SoC	System On a Chip
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
ULP	Ultra-Low Power
VLSI	Very-large-scale integration
WSN	Wireless Sensor Network
XO	Crystal Oscillator

Εισαγωγή

1.1 Πρόλογος

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων τα τελευταία χρόνια άνοιξε νέα πεδία στις σύγχρονες τεχνολογικές εφαρμογές. Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελεί ένα νέο τομέα υπολογιστικών συστημάτων, που διευρύνει την ανθρώπινη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι αναπτύσσονται είτε μέσα στο φαινόμενο ή πολύ κοντά σ' αυτό. Η θέση των κόμβων δεν είναι πάντα προκαθορισμένη, υπάρχει όμως η απαίτηση το δίκτυο να αυτοσυντηρείται και να λειτουργεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς την ανθρώπινη παρέμβαση με ενέργεια από συσσωρευτές ή άλλες αυτόνομες πηγές. Οι ιδιαιτερότητες αυτές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων και οι διαφοροποίησή τους από τα κλασικά δίκτυα υπολογιστών οδηγούν σε νέες προκλήσεις και αντικείμενα έρευνας με σκοπό την βελτιστοποίηση της απόδοσής τους.

1.2 Σκοπός

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σαν σκοπό την σχεδίαση και υλοποίηση ασύρματου δικτύου αισθητήρων με εφαρμογή στο κλάδο της μελισσοκομίας.

Για το λόγο αυτό πραγματοποιείται ανάλυση του μικροελεγκτή nRF24LE1. Ο ενσωματωμένος RF πομποδέκτης του μικροελεγκτή χρησιμοποιείται για την υλοποίηση του δικτύου. Ενώ αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και βάρους χρησιμοποιούνται για την καταγραφή σημαντικών μεγεθών στις κυψέλες. Η επικοινωνία μεταξύ δικτύου και χρήση γίνεται μέσω γραπτών μηνυμάτων.

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Η εργασία αυτή αποτελείται από επτά κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο στο οποίο γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα και το σκοπό της διπλωματικής εργασίας, με μία σύντομη αναφορά στο περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου.

Κεφάλαιο 2: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων - WSN

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες που σχετίζονται με την λειτουργία των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Αρχικά αναφέρονται οι παράγοντες που συντελούν στη διαφοροποίηση των ασύρματων δικτύων αισθητήρων από τα υπόλοιπα δίκτυα και ακολουθεί η παράθεση των βασικών χαρακτηριστικών.

Κεφάλαιο 3: Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική αναφορά στις πιο διαδεδομένες κατηγορίες εφαρμογών των ασύρματων αισθητήρων, επίσης περιγράφονται κάποια παραδείγματα εφαρμογών.

Κεφάλαιο 4: Ο μικροελεγκτής nRF24LE1

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο μικροελεγκτής nRF24LE1 με όλα τα βασικά χαρακτηριστικά του. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στον RF πομποδέκτη του nRF24LE1 και ειδικά στην λειτουργία Enhanced ShockBurst™.

Κεφάλαιο 5: Αισθητήρια και περιφερειακά κυκλώματα

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά όλα τα αισθητήρια και τα περιφερειακά κυκλώματα που χρησιμοποιούνται στην διπλωματική εργασία. Ακόμα παρουσιάζεται το κύκλωμα nRF24LE1-αισθητήρες μαζί με το πρόγραμμα λειτουργίας για την ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων και την εκτύπωση στο terminal.

Κεφάλαιο 6: Υλοποίηση του WSN

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η υλοποίηση και λειτουργία των βασικών κυκλωμάτων Gateway- Endevices καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του ασύρματου δικτύου.

Κεφάλαιο 7: Η εφαρμογή

Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή του ασύρματου δικτύου αισθητήρων στον κλάδο της μελισσοκομίας, ο τρόπος ενημέρωσης του χρήστη και η ανάλυση κόστους υλικών.

Κεφάλαιο 8: Αναφορές

Παραθέτονται οι πηγές που έχουν χρησιμοποιηθεί για την συγγραφή της διπλωματικής εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

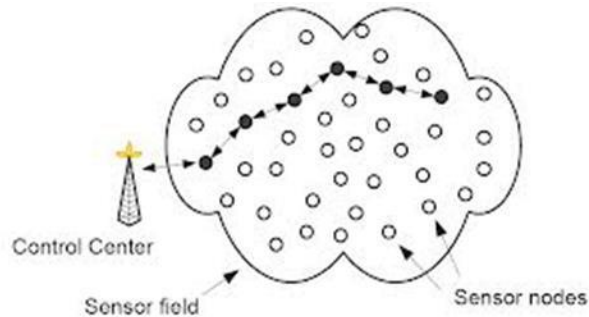
Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων -WSN

2.1 Εισαγωγή

Η πρόοδος στις ασύρματες επικοινωνίες, στον ενσωματωμένο υπολογισμό (embedded computing), στα VLSI κυκλώματα χαμηλής κατανάλωσης και κυρίως στην τεχνολογία των ηλεκτρομηχανικών συστημάτων (MEMS) έχουν συντελέσει στην ανάπτυξη πολύ-λειτουργικών αισθητήρων (smart sensors) χαμηλού-κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και πολλών λειτουργιών, οι οποίοι είναι μικροί σε μέγεθος και επικοινωνούν, χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση ή επιτήρηση, μεταξύ τους σε μικρές αποστάσεις. Αυτοί οι μικροσκοπικοί κόμβοι αισθητήρων, που αποτελούνται από υποσυστήματα αίσθησης, επεξεργασίας δεδομένων και επικοινωνιών, οδηγούν στην ιδέα των δικτύων αισθητήρων που βασίζονται στην συνεργατική λειτουργία ενός μεγάλου συνόλου κόμβων.

Ένα δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, οι οποίοι αναπτύσσονται πυκνά, είτε μέσα στο φαινόμενο είτε πολύ κοντά σε αυτό. Η θέση των κόμβων αισθητήρων δεν είναι ανάγκη να προσχεδιαστεί ή να προαποφασιστεί. Αυτό επιτρέπει την τυχαία εξάπλωσή τους σε μη προσβάσιμα εδάφη ή σε επιχειρήσεις για την αντιμετώπιση καταστροφών. Από την άλλη πλευρά, αυτό σημαίνει ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι των δικτύων αισθητήρων πρέπει να διαθέτουν αυτό-οργανωτικές δυνατότητες. Ένα άλλο μοναδικό χαρακτηριστικό των δικτύων αισθητήρων είναι η συνεργατική λειτουργία των κόμβων αισθητήρων (εικόνα 1).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά εξασφαλίζουν ένα μεγάλο πλήθος εφαρμογών για τις οποίες είναι κατάλληλα τα δίκτυα αισθητήρων. Μερικές από τις περιοχές εφαρμογής είναι η υγεία, ο στρατός και η ασφάλεια. Για παράδειγμα, μια στρατιωτική εφαρμογή των δικτύων αισθητήρων είναι η χρησιμοποίησή τους στα συστήματα διοίκησης, ελέγχου, επικοινωνιών, πληροφορικής, πληροφοριών, επιτήρησης, αναγνώρισεων και σκόπευσης, εκμεταλλευόμενοι τις ιδιότητες τους όπως η ταχεία εγκατάσταση, η αυτό-οργάνωση και η αντοχή σε λάθη.



Εικόνα 1: Συνεργατική λειτουργία κόμβων

Προκειμένου να υλοποιηθούν οι παραπάνω αλλά και άλλες εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων απαιτούνται τεχνικές ad-hoc δικτύωσης (καθόσον έχουν ομοιότητες με τα δίκτυα αισθητήρων). Παρόλο που αρκετοί αλγόριθμοι και πρωτόκολλα έχουν προταθεί για τα παραδοσιακά ad-hoc ασύρματα δίκτυα, δυστυχώς δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στα δίκτυα αισθητήρων εξαιτίας των μοναδικών χαρακτηριστικών και των απαιτήσεων των εφαρμογών των δικτύων αισθητήρων. Παρακάτω, αναφέρονται περιληπτικά οι διαφορές μεταξύ των δύο αυτών δικτύων που δικαιολογεί το παραπάνω πρόβλημα:

- Ο αριθμός των κόμβων σε ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί να είναι πολλές φορές πιο μεγάλος από ότι σε ένα ad hoc δίκτυο
- Η χωρική πυκνότητα των δικτύων αισθητήρων είναι συχνά μεγάλη.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι είναι εύκολο να καταστραφούν.
- Η τοπολογία ενός δικτύου αισθητήρων αλλάζει πολύ συχνά.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι χρησιμοποιούν κυρίως επικοινωνία broadcast ενώ περισσότερα ad-hoc δίκτυα βασίζονται στην επικοινωνία σημείου προς σημείο.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι διακρίνονται για τους σημαντικούς περιορισμούς που έχουν, από κατασκευής, στους τομείς της ενέργειας, της υπολογιστικής ισχύος και της μνήμης.
- Οι αισθητήριοι κόμβοι συνήθως δεν έχουν κάποιο παγκόσμιο αναγνωριστικό (ID), εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της επικεφαλίδας που απαιτεί μια τέτοια ιδιότητα, καθώς και του μεγάλου αριθμού των κόμβων.

Επειδή ένας μεγάλος αριθμός κόμβων αισθητήρων αναπτύσσεται με πυκνή διάταξη, οι γειτονικοί κόμβοι μπορεί να βρίσκονται πολύ κοντά ο ένας στον άλλο. Έτσι, η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαδοχικών κόμβων (multi-hop communication) στα δίκτυα αισθητήρων αναμένεται να απαιτεί λιγότερη ενέργεια από ότι η παραδοσιακή επικοινωνία μεταξύ γειτονικών κόμβων (single-hop communication). Η επικοινωνία μεταξύ πολλαπλών διαδοχικών κόμβων (multi-hop) μπορεί να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά κάποια από τα προβλήματα διάδοσης του σήματος σε μακρινές αποστάσεις.

Ένας από τους πιο σημαντικούς περιορισμούς στα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων είναι η απαίτηση για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Οι αισθητήριοι κόμβοι έχουν περιορισμένες και συνήθως αναντικατάστατες πηγές ενέργειας. Έτσι, ενώ τα παραδοσιακά δίκτυα στοχεύουν να παρέχουν υπηρεσίες υψηλής ποιότητας (QoS), τα δίκτυα ασύρματων

αισθητήρων έχουν ως πρωταρχικό στόχο την διατήρηση της ενέργειας. Επίσης θα πρέπει να έχουν ενσωματωμένους μηχανισμούς εξισορρόπησης, οι οποίοι θα δίνουν στον τελικό χρήστη τη δυνατότητα παράτασης της ζωής λειτουργίας του δικτύου με κόστος τη χαμηλότερη ρυθμαπόδοση (throughput) ή τη μεγαλύτερη καθυστέρηση μετάδοσης.

2.2 Μοντέλα λειτουργίας για Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων

Η μεθοδολογία χρήσης των ασύρματων δικτύων αισθητήρων υποδεικνύει ένα μοντέλο λειτουργίας με τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- Ο αισθητήρας. Είναι το αντικείμενο που υλοποιεί τη μετάβαση από το φυσικό κόσμο στην ηλεκτρονική πραγματικότητα και μεταφέρει ασύρματα τις πληροφορίες. Κατά κύριο λόγο αποτελείται από πέντε χαρακτηριστικά τμήματα, το υλικό του αισθητήρα, τη μνήμη, τη μπαταρία ή κάποιο άλλο συσσωρευτή ενέργειας, ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή και πομποδέκτη.
- Ο παρατηρητής. Είναι ο τελικός χρήστης που ενδιαφέρεται να αποκτήσει την πληροφορία η οποία διαχέεται μέσα στο ασύρματο δίκτυο αισθητήρων και αφορά το φαινόμενο προς παρακολούθηση. Ο παρατηρητής μπορεί να εισάγει ερωτήματα στο δίκτυο και να περιμένει τη λήψη απαντήσεων από το δίκτυο αισθητήρων. Επίσης, μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι του ενός παρατηρητές, οι οποίοι θέτουν διάφορα ερωτήματα.
- Το φαινόμενο. Είναι το αντικείμενο ενδιαφέροντος του παρατηρητή, το οποίο γίνεται αισθητό από το δίκτυο και πιθανά υπόκειται σε επεξεργασία ή ανάλυση από το δίκτυο. Είναι δυνατό να παρακολουθούνται περισσότερα του ενός φαινόμενα την ίδια χρονική στιγμή.

Μια εναλλακτική κατηγοριοποίηση των δικτύων αισθητήρων με βάση ένα μοντέλο το οποίο βασίζεται στη διάχυση πληροφορίας. Προτείνουν ότι η διάχυση πληροφορίας μπορεί να γίνει με τουλάχιστον τρεις διαφορετικούς τρόπους:

1. με βάση την εξωτερική αποθήκευση – προωθήστε όλα τα δεδομένα στον κόμβο παρατηρητή και μετά άσε αυτόν να επεξεργαστεί την πληροφορία
2. τοπική αποθήκευση – οι πληροφορίες που σχετίζονται με το γεγονός είναι αποθηκευμένες τοπικά στους κόμβους αισθητήρες και
3. αποθήκευση πληροφοριών σχετική με την πληροφορία – τα δεδομένα είναι αποθηκευμένα με το όνομα τους και τα αιτήματα κατευθύνονται με χρήση του ονόματος προς τον κατάλληλο κόμβο - αισθητήρα.

Είναι προφανές ότι κάθε τύπος μοντέλου θα συσχετίζεται και με τον κατάλληλο τύπο επικοινωνιών εντός του δικτύου.

2.3 Αρχές σχεδιασμού ασύρματων δικτύων

Ο σχεδιασμός ενός δικτύου αισθητήρων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από αυτούς. Η μελέτη αυτών των παραγόντων είναι πρωταρχικής σημασίας, γιατί παρέχουν τις κατευθύνσεις γύρω από τις οποίες πρέπει να σχεδιαστεί ένα πρωτόκολλο ή αλγόριθμος για δίκτυα αισθητήρων.

2.3.1 Αντοχή πρωτοκόλλων σε σφάλματα - δυσλειτουργίες κόμβων

Μερικοί κόμβοι αισθητήρες μπορούν να εξασθενίσουν ή να παρεμποδιστούν στην εκπομπή πληροφοριών λόγω της έλλειψης κατάλληλου αποθέματος ενέργειας, να έχουν κάποια ζημία στο υλικό τους ή να βρίσκονται υπό το καθεστώς κάποιας περιβαλλοντικής παρέμβασης. Η αποτυχία μεμονωμένων κόμβων αισθητήρων δεν πρέπει να έχει επιπτώσεις στη συνολική λειτουργία του δικτύου αισθητήρων, κάτι που μπορεί να περιγραφεί ως ανοχή ελαττωμάτων λειτουργίας (fault tolerance). Η ανοχή ελαττωμάτων συμπεριλαμβάνει την υποστήριξη των λειτουργιών του δικτύου αισθητήρων χωρίς οποιαδήποτε διακοπή λόγω των αποτυχιών μεμονωμένων κόμβων αισθητήρων [1], [2]. Η ανθεκτικότητα $R_k(t)$ ή ανοχή ελαττωμάτων ενός κόμβου αισθητήρα μπορεί να μοντελοποιηθεί με βάση την [2.1] με χρήση της κατανομής Poisson ως η πιθανότητα του κόμβου να μη γίνει ελαττωματικός μέσα στο χρονικό διάστημα $(0,t)$ με χρήση της εξίσωσης:

$$R_k(t) = \exp(-\lambda_k t) \quad (2.1)$$

όπου λ_k και t είναι ο ρυθμός εμφάνισης ελαττώματος και ο χρόνος που περνάει αντίστοιχα. Ας σημειωθεί εδώ ότι τα πρωτόκολλα και οι αλγόριθμοι μπορούν να σχεδιαστούν για να εξετάσουν το επίπεδο ανοχής ελαττωμάτων που απαιτείται από τα δίκτυα αισθητήρων. Εάν το περιβάλλον όπου οι κόμβοι αισθητήρες αναπτύσσονται έχει λίγη παρεμβολή, τότε τα πρωτόκολλα μπορούν να είναι πιο χαλαρά.

2.3.2 Επεκτασιμότητα λειτουργίας σε μεγάλο πλήθος κόμβων

Ο αριθμός κόμβων αισθητήρων που αναπτύσσονται κατά τη μελέτη ενός φαινομένου μπορεί να είναι της τάξεως των εκατοντάδων ή των χιλιάδων. Ανάλογα με την εφαρμογή ο αριθμός μπορεί να φθάσει σε μια ακραία τάξη των εκατομμυρίων. Τα νέα πρωτόκολλα λειτουργίας πρέπει να μπορούν να εντάξουν έναν τόσο μεγάλο αριθμό κόμβων σε ένα λειτουργικό δίκτυο αισθητήρων. Πρέπει επίσης, να χρησιμοποιείται θετικά η από φύση υψηλή πυκνότητα κόμβων στην περιοχή υλοποίησης ενός δικτύου αισθητήρων. Η πυκνότητα κόμβων μπορεί να κυμανθεί από λίγους κόμβους αισθητήρες ως λίγες εκατοντάδες κόμβους αισθητήρες σε μια περιοχή, η οποία μπορεί να είναι μικρότερη από 10m σε διάμετρο. Η πυκνότητα των κόμβων αισθητήρων μπορεί να υπολογιστεί [3] με βάση την:

$$\mu(R) = (N * \pi * R^2) / A \quad (2.2)$$

όπου N είναι το πλήθος των κόμβων που είναι διασκορπισμένοι στο πεδίο αισθητήρων με έκταση A και R είναι η ακτίνα συνδεσιμότητας του κάθε κόμβου αισθητήρα. Η ποσότητα $\mu(R)$ τελικά θα δίνει το πλήθος των πρώτων γειτόνων ενός κάθε κόμβου στο δίκτυο αισθητήρων που βρίσκεται στο χώρο.

2.3.3 Χαμηλό κόστος παραγωγής

Δεδομένου ότι τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από έναν μεγάλο αριθμό κόμβων αισθητήρων, το κόστος ενός κόμβου είναι πολύ σημαντική παράμετρος για να δικαιολογήσει το συνολικό κόστος των δικτύων. Εάν το κόστος του δικτύου είναι ακριβότερο από την ανάπτυξη παραδοσιακών αισθητήρων, το δίκτυο αισθητήρων δεν είναι δικαιολογημένο. Κατά συνέπεια, το κόστος κάθε κόμβου αισθητήρων πρέπει να κρατηθεί χαμηλό.

2.3.4 Δυνατότητα επικοινωνίας

Σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (WSN) η επικοινωνία μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες:

1. επικοινωνία υποδομής, όπου η επικοινωνία είναι απαραίτητη για τον καθορισμό (configuration), τη διατήρηση και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας του δικτύου, ενώ ενδέχεται να μεταβάλλεται συχνά, η τοπολογία και ο προσδιορισμός του.
2. επικοινωνία εφαρμογών, που σχετίζεται με τη μεταφορά των δεδομένων που καταγράφηκαν, με σκοπό την ενημέρωση του εκάστοτε ενδιαφερομένου για το φαινόμενο που παρακολουθείται. Εδώ τα μοντέλα που κυριαρχούν είναι η συνεργατική και η μη-συνεργατική μέθοδος μεταφοράς δεδομένων.

Ανάλογα με το αν χρησιμοποιούμε κάποιο από τα δύο μοντέλα του επιπέδου επικοινωνίας εφαρμογών, είτε τη συνεργατική μέθοδο μεταφοράς δεδομένων, όπου απαιτείται η συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών κόμβων του δικτύου, είτε τη μη-συνεργατική, όπου δεν απαιτείται η συνεργασία τους για τη μεταφορά των δεδομένων είτε ο συνδυασμός και των δύο, τότε διακρίνονται μερικές μορφές επικοινωνίας σε ένα WSN, όπως η άμεση σύνδεση (direct connected WSN), η peer-to-peer multi-hop, η επίπεδη ad-hoc multi-hop και η cluster based multi-hop επικοινωνία.

2.3.5 Κατανάλωση ενέργειας

Ο ασύρματος κόμβος- αισθητήρας, που είναι μια μικροηλεκτρονική συσκευή, μπορεί μόνο να εξοπλιστεί με πηγή ισχύος περιορισμένης δυνατότητας. Σε μερικά σενάρια εφαρμογής, η επαναφόρτιση της μπαταρίας μπορεί να είναι αδύνατη. Η διάρκεια ζωής κόμβων αισθητήρων, επομένως, παρουσιάζει ισχυρή εξάρτηση από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι σε πολλές εφαρμογές, κρίσιμο χαρακτηριστικό δεν είναι ο μέσος χρόνος ζωής ενός κόμβου, αλλά ο ελάχιστος εκτιμώμενος χρόνος ζωής [4]. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πεπερασμένης χωρητικότητας των συσσωρευτών έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές, οι οποίες αποσκοπούν στη μεγιστοποίηση του χρόνου ζωής του δικτύου. Στη σημαντικότερη από αυτές, ο στόχος επιτυγχάνεται με την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας στα συστατικά δομικά στοιχεία του κόμβου και ειδικότερα στον πομπό, ο οποίος αποτελεί το τμήμα του κόμβου που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας. Τελευταία, μια νέα μέθοδος τοποθετεί στους κόμβους του δικτύου, συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» και να εκμεταλλεύονται την ενέργεια που βρίσκεται διάχυτη στον περιβάλλοντα χώρο του κόμβου. Τέτοιες συσκευές είναι τα ηλιακά κύτταρα, οι πιεζοηλεκτρικές γεννήτριες, οι μικροανεμογεννήτριες κλπ. Σε ένα πολύ αλματικό δίκτυο αισθητήρων, κάθε ένας κόμβος διαδραματίζει το διπλό ρόλο της πηγής

δεδομένων και του δρομολογητή δεδομένων. Η έλλειψη λειτουργίας ορισμένων κόμβων μπορεί τότε να επιφέρει σημαντικές αλλαγές ως προς την τοπολογία δικτύου και μπορεί να προκαλέσει μεταφορά πακέτων δεδομένων και συνολική αναδιοργάνωση του δικτύου. Ως εκ τούτου, η συντήρηση της ενέργειας στην μπαταρία και η διαχείριση ισχύος από τα πρωτόκολλα λειτουργίας αποκτά αυξημένη σημασία. Είναι για αυτούς τους λόγους που οι ερευνητές στρέφουν προς το σχεδιασμό των πρωτοκόλλων και αλγορίθμων που είναι ενεργειακά αποδοτικοί σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων.

Σε άλλα κινητά και κατά περίπτωση δίκτυα, η κατανάλωση ενέργειας είναι ένας σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού, αλλά όχι η πρωταρχική προϋπόθεση, απλά επειδή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να αποκατασταθεί από το τελικό χρήστη. Η έμφαση των πρωτοκόλλων για αυτά τα δίκτυα είναι περισσότερο στην απόδοση μεθοδολογιών για ποιότητα υπηρεσίας παρά στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στα δίκτυα αισθητήρων, εν τούτοις, η εξοικονόμηση ενέργειας είναι μια σημαντική μετρική απόδοσης, με άμεσο επηρεασμό της διάρκειας ζωής των δικτύων. Τα συγκεκριμένα πρωτόκολλα σχετικά με την εφαρμογή μπορούν να σχεδιαστούν εναλλάσσοντας κατάλληλα άλλες μετρικές απόδοσης όπως η καθυστέρηση και η ρυθμαπόδοση με την εξοικονόμηση ενέργειας.

2.3.6 Κάλυψη

Επόμενος σημαντικός παράγοντας, μετά το χρόνο ζωής, είναι η κάλυψη. Όπως είναι προφανές, είναι σημαντικό για τον τελικό χρήστη να μπορεί να αναπτύξει δίκτυα τα οποία καλύπτουν μια ευρεία περιοχή παρατήρησης [4]. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονίσουμε ότι η κάλυψη του δικτύου δεν ταυτίζεται απαραίτητα με την ακτίνα κάλυψης των επικοινωνιακών συνδέσεων που χρησιμοποιεί ο κάθε κόμβος. Με τη χρήση multi-hop τεχνικών είναι εφικτή η επέκταση της κάλυψης αρκετά πιο μακριά από την ακτίνα που επιτρέπει ο χρησιμοποιούμενος πομπός. Θεωρητικά, η επέκταση της ακτίνας κάλυψης του δικτύου τείνει στο άπειρο, αλλά αποδεικνύεται ότι μετά από έναν αριθμό από hops και μια συγκεκριμένη ακτίνα εκπομπής, το συνολικό ισοζύγιο κατανάλωσης ισχύος του δικτύου αυξάνεται, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται ο χρόνος αντίδρασής του.

2.3.7 Δυνατότητα αίσθησης

Η έννοια της αίσθησης αναφέρεται σε όρους, όπως η έκθεση (exposure) –χρόνος έκθεσης και απόσταση κόμβου, η προσαρμογή / βαθμονόμηση (calibration) και η κάλυψη (sensing coverage). Μολονότι η λειτουργία της αίσθησης εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής, οι κόμβοι εκτελούν κάποιες γενικές λειτουργίες [5]:

- καθορισμό της τιμής μιας παραμέτρου, όπως θερμοκρασία και ατμοσφαιρική πίεση, σε μία δεδομένη τοποθεσία σε ένα σύνολο θέσεων μέσω διαφορετικών αισθητήρων, καθένας με δικό του ρυθμό δειγματοληψίας και δυναμική περιοχή τιμών.
- αντίληψη γεγονότων και εκτίμηση των παραμέτρων τους, όπως ανίχνευση οχήματος από διασταύρωση και εκτίμηση της ταχύτητάς του.
- ανίχνευση αντικειμένων και πιθανότητα κατηγοριοποίησής τους, όπως ανίχνευση εισβολής στην παρατηρούμενη από το δίκτυο περιοχή και αναγνώριση του είδους ενός

οχήματος. Οι αισθητήρες ανάλογα με τη δυνατότητα αίσθησης που διαθέτουν, μπορούν να ταξινομηθούν σε:

1. Ενεργητικές συσκευές, που τείνουν να είναι υψηλής ενέργειας συστήματα, όπως ραντάρ και σόναρ.
2. Παθητικές συσκευές, συνήθως χαμηλής ενέργειας, όπως αισθητήρες μέτρησης σεισμικών δονήσεων και θερμοκρασίας.

Επιπλέον, ανάλογα με τη συγκέντρωση των απαιτούμενων δεδομένων της εφαρμογής τα WSN μπορούν να χαρακτηριστούν, ως:

- Συνεχή, όταν οι κόμβοι συλλέγουν δεδομένα αδιαλείπτως.
- Απόκρισης (Reactive), όταν συλλέγουν δεδομένα που αφορούν συγκεκριμένα γεγονότα ή αποκρίνονται στην απαίτηση ενός παρατηρητή.
- Περιοδικά, όταν συλλέγουν δεδομένα σύμφωνα με τις συνθήκες που καθορίζει η εφαρμογή.

2.3.8 Δυνατότητα Επεξεργασίας Δεδομένων

Ο επεξεργαστής και η μνήμη ενός ασύρματου κόμβου διαμορφώνουν την υπολογιστική ικανότητα, η οποία είναι προγραμματιζόμενη και εκτελεί βασικούς υπολογισμούς επεξεργασίας σήματος και πιθανότατα διεργασίες συσχέτισης δεδομένων [5]. Πιθανές διεργασίες είναι:

- Data fusion, η οποία συνδυάζει ένα ή περισσότερα πακέτα δεδομένων που έχουν ληφθεί από διαφορετικούς αισθητήρες για τη δημιουργία ενός μοναδικού πακέτου και οδηγεί στη μείωση της μεταδιδόμενης ποσότητας δεδομένων και συνεπώς της καταναλισκόμενης ενέργειας.
- Συμπύεση δεδομένων.
- Επεξεργασία ασφάλειας.

Σε κάποια δίκτυα, η επεξεργασία των δεδομένων εφαρμόζεται από τον κάθε κόμβο σε αντίθεση με την ιεραρχική αρχιτεκτονική επεξεργασίας που υλοποιείται σε άλλα δίκτυα.

2.3.9 Προσαρμογή στο περιβάλλον λειτουργίας

Οι κόμβοι αισθητήρες επεκτείνονται πυκνά, είτε πολύ κοντά στο φαινόμενο προς παρατήρηση είτε άμεσα εντός της περιοχής του φαινομένου. Επομένως, οι κόμβοι λειτουργούν αφύλακτοι σε απομακρυσμένες γεωγραφικές περιοχές. Λειτουργούν κάτω από υψηλή πίεση στο κατώτατο σημείο ενός ωκεανού, σε σκληρά περιβάλλοντα όπως συντρίμια ή ένα πεδίο μάχη, κάτω από ακραία θερμότητα και κρύο όπως στο ακροφύσιο μιας μηχανής αεροσκαφών ή στις αρκτικές περιοχές, και σε ένα εξαιρετικά θορυβώδες περιβάλλον όπως κάτω από το σκόπιο μπλοκάρισμα. Τέτοιες ακραίες συνθήκες λειτουργίας απαιτούν τη δυνατότητα προσαρμογής από πλευράς των σχεδιαζόμενων πρωτοκόλλων.

2.3.10 Συντήρηση δικτύου

Η λειτουργία της συντήρησης προσφέρει ανίχνευση αποτυχιών ή μείωση της απόδοσης του δικτύου, εκκινεί διαδικασίες διάγνωσης και επανορθώνει προβληματικές λειτουργίες. Χρησιμοποιείται σαν όρος σε δίκτυα WSN που έχουν τη δυνατότητα να αυτοπροσδιοριστούν, αυτοπροστατευτούν και επανέλθουν, χωρίς να είναι σημαντική η ανθρώπινη παρέμβαση. Η συντήρηση διακρίνεται στους ακόλουθους τύπους [5]:

- Corrective, όπου το σύστημα προσαρμόζεται στις αλλαγές.
- Adaptive, στον τύπο αυτό το σύστημα οφείλει να προσαρμοστεί στις μεταβολές.
- Preventive, εδώ το σύστημα αναμένει την επίδραση των αλλαγών.
- Proactive, όπου το σύστημα πρέπει να επεμβαίνει την κατάλληλη στιγμή για την αποφυγή αρνητικών συμβάντων.

2.3.11 Ασφάλεια

Τα WSNs πρέπει να είναι σε θέση να κρατούν την πληροφορία που συλλέγουν κρυφή από μη εξουσιοδοτημένους χρήστες. Θα πρέπει, λοιπόν, το σύστημα να μπορεί να διατηρεί τη μυστικότητά του χρησιμοποιώντας τεχνικές κρυπτογράφησης και αυθεντικότητας [6]. Βέβαια, η χρήση των μηχανισμών αυτών επιδρά αρνητικά στην κατανάλωση ενέργειας και στο διαθέσιμο εύρος ζώνης του δικτύου.

2.4 Τοπολογίες ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Οι κόμβοι-αισθητήρες που απαρτίζουν ένα WSN χωρίζονται σε πηγές (sources) και αποδέκτες (sinks). Ως πηγή θεωρείται κάθε συσκευή που συμμετέχει στο δίκτυο παρέχοντας πληροφορίες, ενώ αποδέκτης η συσκευή που ζητά πληροφορίες. Συνεπώς, σε κάθε WSN όλοι οι κόμβοι αποτελούν πηγές, ενώ υπάρχουν τρεις εναλλακτικές όσον αφορά τον αποδέκτη. Μία περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι ένας κόμβος του δικτύου, όπως οι υπόλοιποι, ενώ μία άλλη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να είναι μία οντότητα που είναι εκτός του δικτύου των αισθητήρων, όπως για παράδειγμα ένας φορητός υπολογιστής, ο οποίος αλληλεπιδρά με το δίκτυο αναζητώντας πληροφορίες όταν είναι απαραίτητο. Η τρίτη περίπτωση είναι ο αποδέκτης να έχει το ρόλο ενός gateway, ο οποίος προωθεί τις πληροφορίες σε ένα μεγαλύτερο δίκτυο [7]. Μια άλλη κατηγοριοποίηση των κόμβων σε ένα δίκτυο WSN μπορεί να γίνει με κριτήριο την υπολογιστική τους ικανότητα, έτσι οι κόμβοι κατηγοριοποιούνται σε:

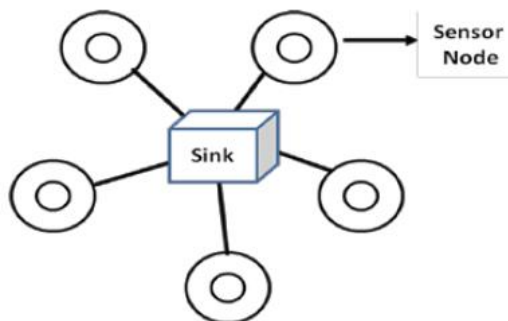
- Full – Function Device (FFD): οι κόμβοι που ανήκουν στην κατηγορία αυτή μπορεί να λειτουργήσουν είτε ως συντονιστές του δικτύου, είτε ως απλοί ενδιάμεσοι κόμβοι. Εκτός της δυνατότητας καταγραφής δεδομένων από το εξωτερικό περιβάλλον, μπορούν να επικοινωνήσουν με άλλους κόμβους, μεταφέροντας μηνύματα διαχείρισης και ελέγχου.
- Reduced – Function Device (RFD): πρόκειται για κόμβους που διαθέτουν μόνο λειτουργίες καταγραφής και επικοινωνίας με κόμβους FFD. Ως εκ τούτου, δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως συντονιστές του δικτύου.

Υπάρχουν πέντε είδη τοπολογιών που απαντώνται στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSN). Αυτές μπορεί να είναι:

- Τοπολογία αστέρα (star)
- Τοπολογία δένδρου (tree)
- Τοπολογία καταναμημένου δικτύου (mesh network)
- Τοπολογία διαύλου (bus)
- Τοπολογία βρόχου (ring)

2.4.1 Τοπολογία Αστέρα

Η τοπολογία αστέρα (ή Ακτινωτή) περιλαμβάνει ένα κόμβο FFD και πλήθος απλών κόμβων καταγραφής RFD. Αποκαλείται και επικοινωνία σημείου προς σημείο (point-to-point), καθώς όλοι οι κόμβοι καταγραφής επικοινωνούν απευθείας με τον κόμβο πλήρους λειτουργίας, που έχει και το ρόλο συγκεντρωτή όντας υπεύθυνος για την περαιτέρω προώθηση των δεδομένων. Απαραίτητη προϋπόθεση, που αποτελεί ταυτόχρονα και σημαντικό περιορισμό της τοπολογίας αυτής, είναι η εγκατάσταση των τελικών κόμβων εντός της εμβέλειας του FFD, προκειμένου να είναι δυνατή η επικοινωνία και η μεταφορά δεδομένων. Σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η απευθείας δρομολόγηση.

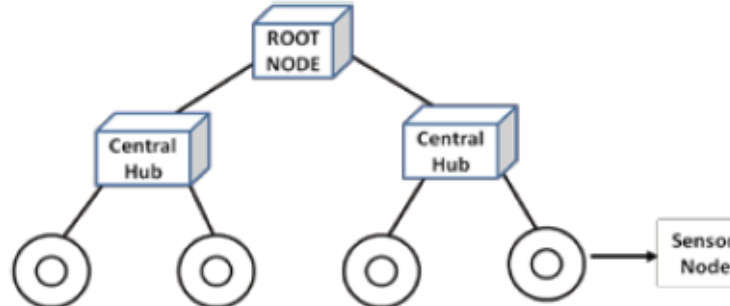


Εικόνα 2:Τοπολογία αστέρα

2.4.2 Τοπολογία Δένδρου

Η τοπολογία δένδρου προκύπτει με ομαδοποίηση τελικών κόμβων που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από το συγκεντρωτή και αδυνατούν να επικοινωνήσουν απευθείας μαζί του. Κάθε ομάδα τελικών κόμβων επικοινωνεί με ένα επαναλήπτη, που είναι κόμβος FFD, αφού πρέπει να διαθέτει λειτουργίες καταγραφής, λήψης και προώθησης πακέτων. Λειτουργία του επαναλήπτη είναι η συγκέντρωση δεδομένων από τους κόμβους κατώτερου επιπέδου και η προώθηση τους προς τον κόμβο – συγκεντρωτή. Είναι φανερό, ότι κάθε πακέτο δεδομένων πραγματοποιεί πολλαπλά βήματα για να φθάσει στον τελικό προορισμό του, χρησιμοποιώντας έτσι μια multi-hop δρομολόγηση. Αυτό το είδος τοπολογίας διαθέτει το

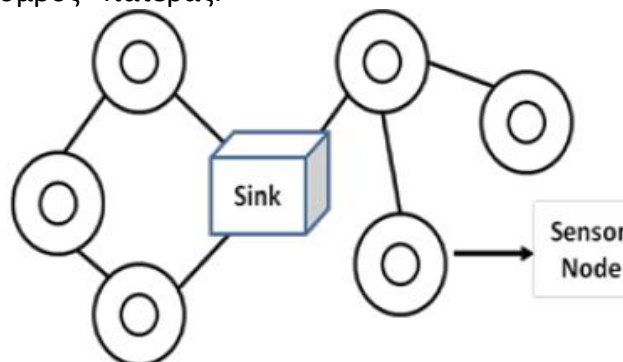
πλεονέκτημα της κλιμακωσιμότητας, καθώς κάθε νέος κόμβος μπορεί να εντάσσεται σε μια υπάρχουσα ομάδα, γεγονός που τον καθιστά άμεσα λειτουργικό. Ωστόσο, η τοπολογία αυτή χρειάζεται πρωτόκολλα δρομολόγησης που πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τα περιορισμένα ενεργειακά αποθέματα των κόμβων. Επίσης, οι αλγόριθμοι οφείλουν να είναι ευέλικτοι σε αλλαγές, όπως η είσοδος νέων κόμβων.



Εικόνα 3:Τοπολογία δένδρου

2.4.3 Mesh Τοπολογία

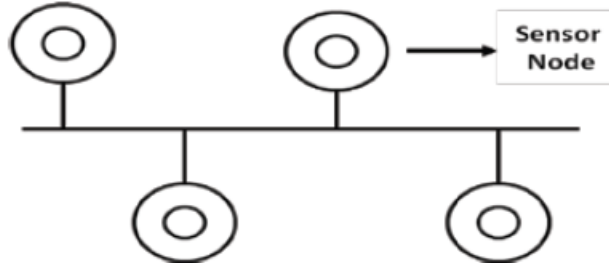
Η κατανεμημένη (mesh) τοπολογία παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την τοπολογία δένδρου, χαρακτηριζόμενη, ωστόσο, από μικρότερη ομοιομορφία στη χωρική κατανομή των κόμβων. Η δρομολόγηση γίνεται με παρόμοιους αλγόριθμους έχει πολυβηματική (multi-hop) δρομολόγηση, ενώ τα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα δεν διαφέρουν σημαντικά από εκείνα της τοπολογίας δένδρου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα της mesh τοπολογίας είναι η διαθεσιμότητα εναλλακτικών διαδρομών. Ακριβώς επειδή υπάρχει χωρική ανομοιομορφία, η επικοινωνία με τον κόμβο RFD μπορεί να γίνει μέσω εναλλακτικής multi-hop δρομολόγησης. Όλοι οι κόμβοι βασίζονται στους γειτονικούς τους για να μεταδώσουν δεδομένα. Μέσω της mesh τοπολογίας και της εναλλακτικής δρομολόγησης, η επικοινωνία είναι εφικτή και σε περιπτώσεις όπου γειτονικός κόμβος τεθεί εκτός λειτουργίας. Σε τοπολογία δένδρου δεν είναι εφικτή η εναλλακτική δρομολόγηση στην περίπτωση όπου τεθεί εκτός λειτουργίας ο κόμβος –πατέρας.



Εικόνα 4:Τοπολογία Mesh

2.4.4 Τοπολογία Διαύλου

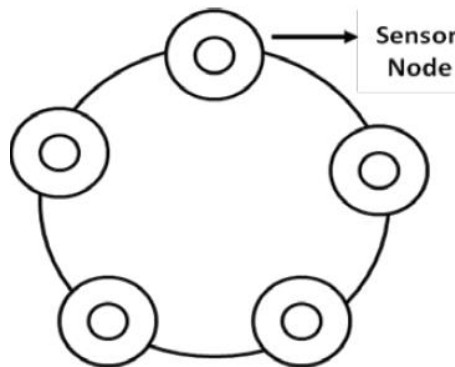
Στην τοπολογία διαύλου, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι στον ίδιο φυσικό δίαυλο. Δεδομένα από ένα κόμβο φθάνουν σε όλους και κάθε κόμβος ελέγχει αν είναι ο παραλήπτης. Έχει μικρό κόστος υλοποίησης, αφού χρησιμοποιείται ένας δίαυλος, αλλά και δυσκολότερη διαχείριση. Στην περίπτωση όπου διακοπεί η σύνδεση, το δίκτυο πρόσβασης παύει να λειτουργεί, αφού δεν υπάρχει εναλλακτική διαδρομή.



Εικόνα 5: Τοπολογία Διαύλου

2.4.5 Τοπολογία Βρόχου

Στη βροχειδή τοπολογία, όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Κάθε κόμβος, δηλαδή, είναι συνδεδεμένος με άλλους δύο κόμβους. Τα δεδομένα μεταδίδονται ημιαμφίδρομα και διέρχονται από όλους τους κόμβους του δικτύου, που λειτουργούν και ως επαναλήπτες για να διατηρούν την ισχύ του σήματος υψηλή. Τέλος, η τοπολογία βρόχου προσφέρει εναλλακτική δρομολόγηση όταν μια ζεύξη σταματήσει να λειτουργεί, ενεργοποιώντας την αντίστροφη διαδρομή.



Εικόνα 6: Τοπολογία Βρόχου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

Εφαρμογές Ασύρματων Δικτύων Αισθητήρων

3.1 Εισαγωγή

Σήμερα είναι πολύ δύσκολο να αριθμήσει κάποιος τις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Όπως και με πολλές άλλες τεχνολογίες, η έρευνα στην περιοχή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων ξεκίνησε από στρατιωτικές εφαρμογές και χάρη στην δημιουργικότητα των χρηστών πολλές νέες εφαρμογές έχουν προκύψει. Οι εφαρμογές αυτές και οι απαιτήσεις τους δίνουν διαρκώς ώθηση στην εξέλιξη των αισθητήρων κάνοντας επιτακτική την ανάγκη ενσωμάτωσης σε αυτούς πλεονεκτημάτων και από άλλους τεχνολογικούς κλάδους.

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μας παρέχουν ένα τρόπο εποπτείας και κατά επέκταση έλεγχο του περιβάλλοντα χώρου. Ενώ άλλες τεχνολογίες μπορούν να μας παρέχουν την επίβλεψη ενός συγκεκριμένου μέρους ενός συστήματος, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μας δίνουν μια καλύτερη εποπτεία του συνόλου ενός συστήματος. Η θεώρηση αυτή δεν έχει να κάνει μόνο με την παρατήρηση ενός φαινομένου αλλά και με την ανάλυση, την επεξεργασία και την παρουσίαση των δεδομένων.

Πλεονέκτημα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η δυνατότητα δειγματοληψίας με μεγαλύτερη συχνότητα απ' ό,τι άλλες μέθοδοι, οι οποίες έπασχαν από έλλειψη διάρκειας τόσο στον χρόνο όσο και στον χώρο. Οι παραδοσιακές προσεγγίσεις για την μελέτη πολύπλοκων φαινομένων στο σύνολο τους βασιζόταν σε ένα μικρό, αντιπροσωπευτικό και ικανό αριθμό δεδομένων προκειμένου να εξαχθεί μια γενική εικόνα.

Σε μια εφαρμογή χρειάζεται έναν ικανό αριθμό αισθητήρων, σωστά κατανομημένων στον χώρο, οι οποίοι θα παίρνουν μετρήσεις με τέτοια συχνότητα ώστε να μπορούν να εποπτεύσουν το φαινόμενο. Επιπλέον, χρειάζεται μια τεχνολογική υποδομή για τη συλλογή αυτών των δεδομένων και τη μετάδοσή τους σε έναν ανθρώπινο παρατηρητή. Τέλος, απαιτείται μια τεχνική ανάλυσης η οποία θα μπορεί να κάνει αυτά τα δεδομένα πιο κατανοητά, ώστε να εξαχθεί κάποιο συμπέρασμα καθώς επίσης και να δώσει την ευκαιρία εκμετάλλευσής τους σε πλήθος εφαρμογών [8],[9],[10],[11].

3.2 Πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων

Η ασύρματη δικτύωση και η δυνατότητα αυτό-οργάνωσης των δικτύων χωρίς την ανάγκη ανθρώπινης παρέμβασης, κάνει δυνατή την εξάπλωση τους σε περιβάλλοντα που είναι δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να πάει ο άνθρωπος [10]. Η έλλειψη καλωδίωσης για την επίτευξη της μεταξύ τους επικοινωνίας αποτελεί και τον κυρίαρχο παράγοντα που συμβάλλει σε αυτό. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μπορούμε να παρατηρούμε το φαινόμενο από μεγάλη ή ασφαλή απόσταση.

Πλεονεκτήματα των ασύρματων δικτύων αισθητήρων που συμβάλλουν καθοριστικά στην υλοποίηση πολλών εφαρμογών είναι:

- Η δυνατότητα που έχουν να μπορούν να δουλέψουν σε ακραίες συνθήκες.
- Η δυνατότητα υποστήριξη πολλών αισθητήρων σε ένα δίκτυο, η οποία επιδρά στην δυνατότητα υψηλής συχνότητας δειγματοληψίας και στην υψηλή ανάλυση πολύπλοκων μετρήσεων.
- Η αυξημένη χωρική πυκνότητα της διάταξης, η οποία βελτιώνει τα ποσοστά σφάλματος με πλεονασμό πληροφοριών από γειτονικούς κόμβους για την ίδια περιοχή κάλυψης.
- Η χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση.
- Το χαμηλό κόστος.

Καθοριστικός, επίσης, παράγοντας στην υλοποίηση εφαρμογών είναι η μεγάλη ποικιλία των τύπων των αισθητήρων για φαινόμενα και καταστάσεις όπως:

- Θερμοκρασία
- Πίεση
- Ένταση φωτός
- Υγρασία
- Κίνησης
- Επιτάχυνση
- Ένταση Θορύβου
- Μέτρησης όγκου αντικειμένων
- Σύσταση εδάφους κ.α.

3.3 Εφαρμογές

Οι πρώτες εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είχαν σχέση με τη συλλογή δεδομένων σε περιβάλλοντα, που είναι δύσκολο να ελεγχθούν ή που είναι δύσκολο να υφίσταται ανθρώπινη παρουσία, όπως τα περιβάλλοντα φυσικών πόρων. Σημαντική επίσης, υπήρξε και η χρήση τους για τον εντοπισμό συμβάντων ή θέσης, όπως σεισμικών δραστηριοτήτων ή κινούμενων αντικειμένων, γεγονός που εισήγαγε την έννοια του εντοπισμού συμβάντος ως μια επιπλέον δυνατότητα στη χρήση των δικτύων αυτών. Μια τρίτη εφαρμογή των δικτύων αυτών, η ανίχνευση καταστάσεων, κινείται κάπου μεταξύ της παρακολούθησης, συλλογής δεδομένων και του εντοπισμού συμβάντος. Αυτός ο τύπος δικτύου καταγράφει συγκεκριμένα πράγματα στο χώρο, τα οποία αξιολογεί, παρακολουθεί, και επίσης είναι σε θέση να αξιολογήσει και να εντοπίσει μη ομαλές τιμές ή και να προσδιορίσει καταστάσεις.

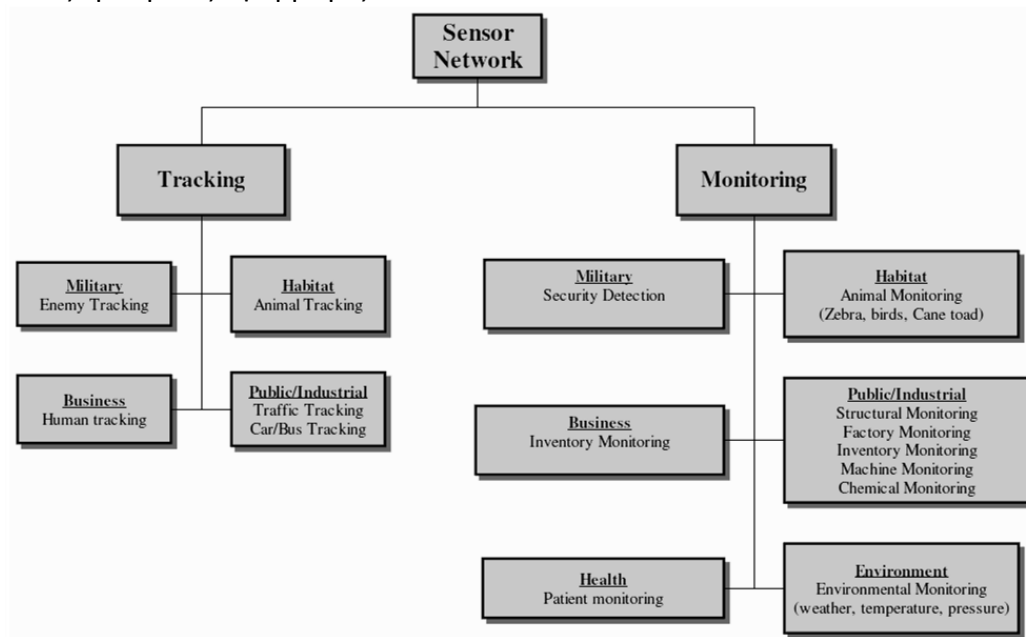
Μπορούμε να κατατάξουμε τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε δυο βασικές Κατηγορίες [8],[9] (εικόνα 7):

- της επίβλεψης (monitoring)

- της ανίχνευσης (tracking)

Αυτές με την σειρά τους μπορούν να χωριστούν σε:

- Παρακολούθηση χώρου
- Παρακολούθηση αντικειμένων
- Παρατήρηση της αλληλεπίδρασης των αντικειμένων και περιβάλλοντος χώρου
- Ενδεικτικά, ορισμένες εφαρμογές αναφέρονται ακολούθως:
- Περιβαλλοντικές εφαρμογές,
- Γεωργικές εφαρμογές
- Εφαρμογές πρόληψης καταστροφών και παροχής βοήθειας
- Οικιακές εφαρμογές
- Επιτήρηση μηχανών και βιομηχανικές εφαρμογές
- Επιτήρηση αντικειμένων
- Εφαρμογές ασφαλείας
- Στρατιωτικές εφαρμογές
- Τηλεματική - έλεγχος μεταφορών και συγκοινωνιών
- Ιατρικές εφαρμογές και Υγιεινή
- Άλλες εμπορικές εφαρμογές



Εικόνα 7: Κατηγοριοποίηση εφαρμογών δικτύων αισθητήρων

3.3.1 Περιβαλλοντικές εφαρμογές.

Σήμερα υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός περιβαλλοντολογικών εφαρμογών ασύρματων δικτύων αισθητήρων για τη καταγραφή της εξελικτικής διαδικασίας ενός οικοσυστήματος υδάτινου, χερσαίου, δασικού ή αστικού. Στις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιούνται συνήθως αισθητήρες βροχόπτωσης, στάθμης νερού και αισθητήρες καιρού για μετεωρολογική, γεωφυσική έρευνα και μελέτη της ρύπανσης. Επίσης, υπάρχουν εφαρμογές για την ρύθμιση

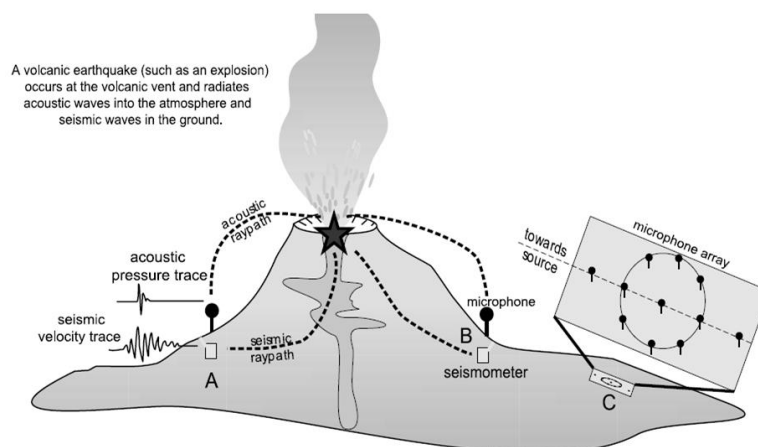
των κλιματικών συνθηκών στα μεγάλα κτήρια ώστε να εξασφαλίσει ένα περιβάλλον εργασίας υγιές και ευχάριστο. Επιπλέον υπάρχουν, περιβαλλοντικές εφαρμογές για την παρατήρηση και καταγραφή του ζωικού βασιλείου όπως είναι η παρακολούθηση της κίνησης των πουλιών, των μικρών ζώων και των εντόμων, η καταγραφή κρίσιμων περιβαλλοντικών παραμέτρων και συνθηκών που επηρεάζουν το κλίμα της γης, η καταγραφή μετρήσεων σε θάλασσα, ξηρά και αέρα, ο εντοπισμός πυρκαγιάς σε δάση, ο εντοπισμός πλημμυρών, η μελέτη της μόλυνσης και τέλος η γεωφυσική και μετεωρολογική έρευνα [8],[10].

Μια από τις πιο διαδεδομένες οικολογικές εφαρμογές είναι το πρόγραμμα Great Duck Island κοντά στην ακτή του Maine των ΗΠΑ. Στην εφαρμογή οι επιστήμονες χρησιμοποιούν ένα πρότυπο δίκτυο αισθητήρων για να μελετούν το μικροκλίμα στο δυσπρόσιτο δίκτυο υπογείων φωλιών των θαλασσοπουλιών του είδους Storm-Petrel. Στο πρόγραμμα αυτό τοποθετήθηκαν αισθητήρες οι οποίοι μετρούν συνεχώς μεγέθη, όπως η φωτεινότητα, η θερμοκρασία και η βαρομετρική πίεση. Οι μετρήσεις αναμεταδίδονται σε τοπικούς υπολογιστές και κατόπιν, σε πραγματικό χρόνο, στο εργαστήριο για την επεξεργασία και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Με τον τρόπο αυτό, οι βιολόγοι παίρνουν τις πληροφορίες που θέλουν για την παρατήρηση των πουλιών και την προστασία του βιότοπου, με την ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση.

Εφαρμογές ασύρματων δικτύων αισθητήρων υλοποιήθηκαν ακόμα και σε ακραία περιβάλλοντα, όπου η συνεχής ανθρώπινη πρόσβαση είναι αδύνατη. Η παρακολούθηση ηφαιστείου είναι ένα παράδειγμα αυτών των ακραίων εφαρμογών, όπου ένα δίκτυο αισθητήρων μπορεί εύκολα να αναπτυχθεί κοντά σε ένα ενεργό ηφαίστειο και να παρακολουθεί συνεχώς τις δραστηριότητές παρέχοντας πληροφόρηση που με τα μέχρι πρότινος εργαλεία δεν ήταν εφικτή. Δυο τέτοιες εφαρμογές έλαβαν χώρο σε δυο ηφαίστεια του Εκουαδόρ κατά την περίοδο 2004- 2005 (εικόνα 8).

Ένα άλλο παράδειγμα εφαρμογής για την καλύτερη κατανόηση οικολογικών προβλημάτων είναι το δάσος Redwood στο Berkeley. Το πρόβλημα ήταν η κατανόηση δυναμικών διεργασιών που συμβαίνουν μέσα στα δέντρα. Η εφαρμογή αυτή παίρνει δείγματα από ένα πυκνό πλέγμα αισθητήρων που τοποθετήθηκε στα δέντρα του δάσους [10].

Τέλος, μια άλλη εφαρμογή του πανεπιστημίου του Princeton είναι το πρόγραμμα ZebraNet με το οποίο παρακολουθείται η μετανάστευση, η συνύπαρξη με άλλα είδη και η νυχτερινή συμπεριφορά των πληθυσμών ζέβρας στην Αφρική [12].

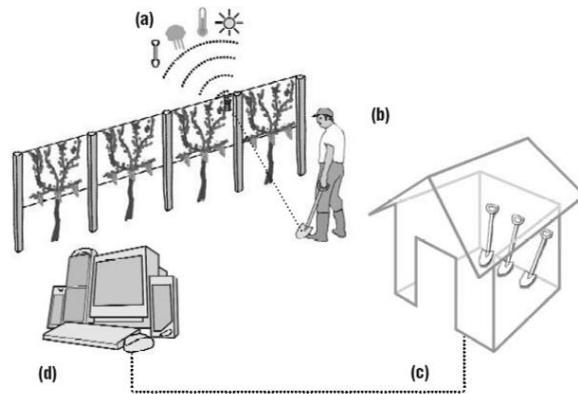


Εικόνα 8: Παρακολούθηση ηφαιστείου με ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

3.3.2 Γεωργικές εφαρμογές

Μερικές σημαντικές εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων στην γεωργία σχετίζονται με την ποιοτική και ποσοτική αναβάθμιση της αγροτικής παραγωγής. Μπορούν να χρησιμοποιούν αισθητήρες, που τους επιτρέπουν να παρακολουθούν τα ακριβή επίπεδα του πόσιμου νερού, τη διάβρωση του εδάφους, τη θερμοκρασία, την υγρασία και το βαθμό μόλυνσης του αέρα σε πραγματικό χρόνο. Παίρνοντας αποφάσεις για την ορθολογική ρίψη στις φυτείες λιπασμάτων, εντομοκτόνων, νερού όποτε, όπου και σε όση ποσότητα κρίνεται αναγκαίο [8].

Μια εφαρμογή στην αμπελουργία είναι ο έξυπνος αμπελώνας. Στον έξυπνο αμπελώνα, οι αισθητήρες ελέγχουν τις θρεπτικές ουσίες σε φυτά και έδαφος, κρατούν τις αμπέλους απαλλαγμένες από τα παράσιτα, εντοπίζουν την υγρασία και ειδοποιούν για τις περιοχές όπου απαιτείται πότισμα. Επίσης, το πρόγραμμα λαμβάνει πληροφορίες από εκείνους που φροντίζουν τα αμπέλια, καλλιεργούν το χώμα και μαζεύουν τα σταφύλια καθώς και δεδομένα για τις ανάγκες των ιδιοκτητών των αμπελώνων, των οινοπαραγωγών και των πωλητών κρασιού. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται, τόσο η αύξηση της παραγωγής, όσο και η ποιοτική βελτίωση του παραγόμενου κρασιού [13].



Εικόνα 9: Εφαρμογή ασύρματου δικτύου αισθητήρων στην αμπελουργία

3.3.3 Εφαρμογές πρόληψης καταστροφών και παροχής βοήθειας

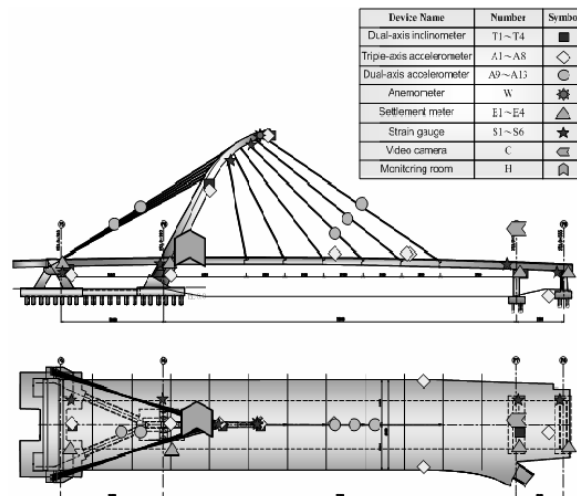
Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να βρουν εφαρμογή σε μια σειρά από επείγουσες καταστάσεις εποπτεύοντας περιοχές με αυξημένο κίνδυνο εκδήλωσης κάποιας καταστροφής. Τυπικές εφαρμογές είναι η πυρανίχνευση, ο έλεγχος πλημμυρών και ο έλεγχος τεχνικών κατασκευών [8],[10].

Στον τομέα της πρόληψης εκδήλωση πυρκαγιών η συμβολή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων μπορεί να σώσει εκατοντάδες στρέμματα δάσους αλλά και ανθρώπινων ζώων. Οι καιρικές συνθήκες, που μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά, είναι προβλέψιμες, έτσι μπορούν να αναπτυχθούν σχετικές τεχνικές ανίχνευσης τέτοιων συνθηκών σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε πυρκαγιές. Η τοποθέτηση των αισθητήρων σε δύσβατες περιοχές μπορεί να γίνει με ρίψη από αεροσκάφος. Ενώ, η τροφοδοσία αυτών μπορεί να επιτευχθεί για μεγάλα χρονικά διαστήματα με την χρήση μπαταριάς ή και με ηλιακή ενέργεια, λαμβάνοντας υπόψη ότι εφαρμογές τέτοιου τύπου παραμένουν αδρανείς για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Μια άλλη επείγουσα κατάσταση μπορεί να προκληθεί από πλημμύρες ύστερα από παρατεταμένες βροχοπτώσεις μιας θύελλας ή μιας καταιγίδας, τη γρήγορη τήξη μεγάλων ποσοτήτων χιονιού, φουσκωμένους ποταμούς εξαιτίας μεγάλων βροχοπτώσεων στις πηγές αυτών, καθώς και από κατάρρευση φραγμάτων ή αναχωμάτων κατασκευασμένων από τον άνθρωπο. Ανάλογα με το πιθανό αίτιο πρόκλησης μίας πλημμύρας σε κάποια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, μπορεί να εγκατασταθεί σε αυτήν ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων για την έγκαιρη ανίχνευσή κι αντιμετώπισή της.

Ένα παράδειγμα συστήματος ανίχνευσης πλημμύρων είναι το σύστημα ALERT, το οποίο και αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι τύποι αισθητήρων, όπως μέτρησης της στάθμης της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της στάθμης του νερού. Τα δεδομένα από αυτές τις μετρήσεις αποστέλλονται σε μία ή περισσότερες κεντρικές αποθήκες δεδομένων, όπου και υφίστανται επεξεργασία για την αποτελεσματική πρόληψη, καθώς και την αντιμετώπιση των πλημμύρων [8].

Ένα άλλο παράδειγμα στον τομέα της πρόληψης καταστροφών είναι ο έλεγχος μεγάλων δημοσίων έργων και υποδομών. Οι κατασκευές υπόκεινται σε μακροπρόθεσμες καταπονήσεις λόγω εκτεταμένης λειτουργικής ζωής, διαβρώσεων, τριβών μεταξύ τους και σεισμικών δονήσεων. Είναι σημαντικό να επεκτείνουμε την ενεργή ζωή των υποδομών μας, μέσω της συλλογής ποιοτικών πληροφοριών για την κατάστασή τους. Οι μηχανικοί μπορούν έτσι να πραγματοποιούν προληπτικές επισκευές βασιζόμενοι περισσότερο σε μετρήσεις απόδοσης και λιγότερο σε προγραμματισμένες συντηρήσεις [15] (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Παρακολούθηση καταπόνησης wsn σε γέφυρα

3.3.4 Οικιακές εφαρμογές

Στις εφαρμογές για οικιακή χρήση τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων συμβάλλουν στην προώθηση των οικιακών αυτοματισμών, στην υλοποίηση έξυπνων σπιτιών με περιβάλλοντα που προσαρμόζονται ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες ή τις επιλογές του χρήστη. Στόχος είναι η μείωση της σπατάλης σε ενέργεια με τον έλεγχο των συνθηκών στο εσωτερικό των κτιρίων όσον αφορά την υγρασία, τον εξαερισμό και τον κλιματισμό (humidity, ventilation, air-

conditioning - HVAC). Έτσι όχι μόνο πετυχαίνεται η εξοικονόμηση ενέργειας αλλά βελτιώνεται και το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων. Είναι επίσης δυνατός ο έλεγχος των μηχανικών επιπέδων πίεσης στις σεισμικά ενεργές ζώνες εξακριβώνοντας έτσι εάν το κτίριο είναι ασφαλές ή βρίσκεται στα όρια της κατάρρευσης καθώς επίσης και η ενσωμάτωση ασύρματων αισθητήρων σε συσκευές ώστε να δημιουργηθεί ένα αυτόνομο έξυπνο δίκτυο [8].

3.3.5 Βιομηχανικές εφαρμογές

Στην βιομηχανία τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων σε συνδυασμό με συστήματα έλεγχου μπορούν να εποπτεύουν όλη την γραμμή παράγωγη για την ορθή λειτουργία της παραγωγής και την ασφάλεια του προσωπικού. Το περιβάλλον στο οποίο βρίσκουν εφαρμογή μπορεί να είναι επικίνδυνο για τον άνθρωπο ή ακόμα να είναι αδύνατο να πάει. Υπάρχουν πολλά παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών που σχετίζονται με τον έλεγχο διαφόρων δυσπρόσιτων παραγωγικών περιοχών όπως έλεγχος στο εσωτερικό μηχανών και σε υπόγειες παραγωγικές διαδικασίες, οι οποίες για προφανής λόγους είναι αρκετά επικίνδυνες και δύσκολες στον χειρισμό.

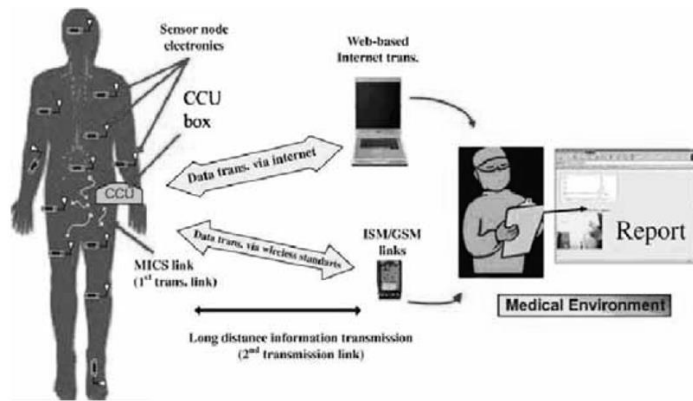
Τα διυλιστήρια είναι ένας χώρος όπου τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για μέτρηση και καταγραφή στα διάφορα στάδια των διεργασιών. Ο έλεγχος της παραγωγής επιτυγχάνεται με ειδικά σήματα συναγερμών που εκπέμπουν ασύρματοι αισθητήρες με αποτέλεσμα να ειδοποιούνται οι τεχνικοί όταν η θερμοκρασία ή η πίεση βγαίνει εκτός των ορίων. Μια άλλη εφαρμογή είναι η μέτρηση κατά τη διάρκεια των γεωτρήσεων των μη φυσιολογικών δονήσεων και η προειδοποίηση των μηχανικών για πιθανή επερχόμενη βλάβη του εξοπλισμού. Τέλος να αναφέρουμε τον έλεγχο των διαφόρων υπογείων αγωγών από τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είτε πρόκειται για αποχετευτικούς ή υδρευτικούς αγωγούς είτε δεξαμενές και αγωγούς φυσικού αερίου [10].

3.3.6 Εφαρμογές στην υγεία

Είναι μια ιδιαίτερη και ξεχωριστή κατηγορία των εφαρμογών ασύρματων αισθητήρων που συνήθως τη συναντάμε με το όνομα BSN (Body Sensor Network). Η δυσκολία και το σημείο διαφοροποίησης τους είναι ότι αφορούν μετρήσεις στο ανθρώπινο σώμα. Η ανάγκη για την πρόληψη και αποφυγή οποιουδήποτε λάθους καθώς και η πολυπλοκότητα του ανθρώπινου σώματος, καθιστούν την ανάπτυξη του τομέα αρκετά αργή.

Η τάση σε αυτό τον τομέα είναι η παρακολούθηση ασθενών στην εντατική ή η κατά την μετά-εγχειρητική περίοδο από απομακρυσμένη, κατ' οίκον παρακολούθηση, σε περιπτώσεις χρόνιων παθήσεων ή ηλικιωμένων. Η καινοτομία τους έγκειται στις συνθήκες πλήρους κινητικότητας που παρέχουν στους χρήστες τους σε συνδυασμό με την αίσθηση ασφάλειας που συνεπάγεται η διαρκής αλλά ταυτόχρονα διακριτική και μη παρεμβατική παρακολούθηση της υγείας τους. Έτσι μέσω της τηλεϊατρικής επιτυγχάνεται η κατά το δυνατόν αποδέσμευση του ασθενούς από τους νοσοκομειακούς περιορισμούς. Βασική επιδίωξη αυτών των υπηρεσιών είναι ο διαρκής και εξ αποστάσεως έλεγχος της κατάστασης της υγείας μέσω της συλλογής, επεξεργασίας, αξιολόγησης, αξιοποίησης και αποθήκευσης της κατάλληλης ιατρικής

πληροφορίας. Έτσι μπορούμε να πετύχουμε ένα καλύτερο επίπεδο ζωής αλλά και πιο φθινό κόστος ιατρικής περίθαλψης για όλους. Επιπλέον με τα ανιχνευτικά συστήματα καταγραφή θέσης και κατάστασης ασθενών μπορεί να προληφθούν δυσάρεστες καταστάσεις [5],[15].



Εικόνα 11: Εφαρμογές wsn στην ιατρική

3.3.7 Εφαρμογές στις συγκοινωνίες

Στον χώρο των μεταφορών και συγκοινωνιών τα τελευταία χρόνια παρατηρούμε μια μεγάλη αξιοποίηση των τεχνολογιών της ηλεκτρονικής και πληροφορικής όπως τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Υπάρχουν πολλές έρευνες για το πώς τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καλύτερο έλεγχο της κυκλοφορίας οχημάτων στις λεγόμενες έξυπνες λεωφόρους καθώς και μια αυξανόμενη τάση τα οχήματα να ενσωματώνουν όλο και περισσότερους αισθητήρες. Τα οχήματα ανταλλάσσουν πληροφορίες για διάφορες συνθήκες που συναντά ο προπορευόμενος όπως: ολισθηρό οδόστρωμα, απότομο φρενάρισμα, μπουτιλιάρια, έργα στο οδόστρωμα κτλ. Με σκοπό την προώθηση της ασφαλούς οδήγησης, της μείωσης των ατυχημάτων, του ελέγχου των ορίων ταχύτητας και του συγκοινωνιακού φόρτου, αλλά και της πιο ξεκούραστης οδήγησης. Προσδοκώμενο αποτέλεσμα είναι το κάθε όχημα να μετακινείται από μόνο του χωρίς να χρειάζεται η ανθρώπινη παρέμβαση σε συνεργασία με τα υπάρχοντα δίκτυα GPS [8],[10].

3.3.8 Εφαρμογές επιτήρησης

Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων έχοντας την δυνατότητα να αντιλαμβάνονται μεταβολές φυσικών φαινομένων όπως: η μεταβολή της επιτάχυνσης, η καταγραφή της θέσης και άλλες, καθιστούν εφικτή την ανάπτυξη εφαρμογών σε σχετικές με την επίβλεψη κιβωτίων, δεμάτων και άλλων αντικειμένων. Σε αυτή την κατηγορία εφαρμογών ανήκουν και εκείνες που αναφέρονται στην παρακολούθηση χώρων για λόγους ασφάλειας και στην ενημέρωση κάποιων εποπτεύουσας εφαρμογής σε τακτά χρονικά διαστήματα. Η εποπτεύουσα εφαρμογή μπορεί μέσω των κόμβων να ενημερωθεί για την εκδήλωση ενός περιστατικού ενδιαφέροντος, για παράδειγμα την παραβίαση ενός χώρου [10].

3.3.9 Στρατιωτικές εφαρμογές

Τα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων αναπτύχθηκαν όπως και πολλές άλλες επιστημονικές και τεχνολογικές ανακαλύψεις από την τάση που δημιουργούν οι στρατιωτικοί ανταγωνισμοί. Μπορούμε μόνο να σκεφτούμε πόσες ανακαλύψεις αναδύθηκαν είτε από κάποιο πόλεμο είτε στα στρατιωτικά εργαστήρια και αργότερα βρήκαν εφαρμογή σε τομείς που προάγουν και εξυπηρετούν άλλες καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου.

Στις μέρες μας, από όσα είναι δυνατόν να γνωρίζουμε λόγο του στρατιωτικού απόρρητου, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων χρησιμοποιούνται για την επιτήρηση στρατιωτικών εγκαταστάσεων, των συνόρων ενός κράτους, όπως επίσης και για την αναγνώριση των φίλιων πυρών στο πεδίο της μάχης, την εκτίμηση των ζημιών μετά από μία μάχη, τη στόχευση, την παρακολούθηση του πεδίου της μάχης, την αναγνώριση των εχθρικών δυνάμεων και του εδάφους, την ανίχνευση πυρηνικών, βιολογικών και χημικών απειλών και πολλά άλλα. Πιο συγκεκριμένα, ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο πεδίο της μάχης για τη συλλογή δεδομένων που αφορούν την κατάσταση, τη θέση και τον οπλισμό των στρατευμάτων σε πραγματικό χρόνο. Τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται στους αρχηγούς του στρατεύματος, βοηθώντας τους στη λήψη των κατάλληλων αποφάσεων, κατά τη διάρκεια της μάχης [8],[10].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4

Ο μικροελεγκτής nRF24LE1

4.1 Εισαγωγή

Ο μικροελεγκτής nRF24LE1 είναι ένα υψηλής ολοκλήρωσης και πολύ χαμηλής κατανάλωσης ισχύος 2.4GHz RF σύστημα σε ψηφίδα (SoC) στα 2.4GHz για βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική (ISM) χρήση. Ενσωματώνει τον πυρήνα ενός RF πομποδέκτη στα 2.4GHz, έναν 8-bit επεξεργαστή και ενσωματωμένη μνήμη Flash. Προσφέρει μέγιστο ρεύμα στην διαδικασία RF εκπομπής-λήψης που είναι λιγότερο από τα 14mA, μ A κατανάλωσης στη λειτουργία power down, προηγμένη διαχείριση ισχύος και εύρος τροφοδοσίας από 1.3 έως 3.6V. Το nRF24LE1 προσφέρει μια πραγματικά εξαιρετικά χαμηλής ισχύος λύση που δίνει από μήνες έως και χρόνια ζωής στη μπαταρία. Τέλος, περιλαμβάνει μία μεγάλη γκάμα αναλογικών και ψηφιακών περιφερειακών που κάνει το nRF24LE1 μια ευέλικτη και ενιαία λύση για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Το συγκεκριμένο chip είναι κατάλληλο για περιφερειακά PC, ελεγκτές παιχνιδιών, τηλεχειριστήρια, αισθητήρες spor / fitness / υγειονομική περίθαλψη, και παιχνίδια. Αυτός ο μικροελεγκτής προσφέρει επίσης, ένα σύνολο λειτουργιών που τον κάνει ιδανικό για ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) [16].

4.2 Βασικά χαρακτηριστικά του nRF24LE1

Ο μικροελεγκτής nRF24LE1 ενσωματώνει RF μονάδα η οποία ονομάζεται nRF24L01. Η μονάδα nRF24L01 είναι εξαιρετικά χαμηλής ισχύος (ULP) RF πομποδέκτης. Ο nRF24LE1 είναι ένας 16MHz επεξεργαστής με 8-bit CPU, η οποία είναι συμβατή με την 8051 αρχιτεκτονική, 1kB + 256B RAM, 16kB ενσωματωμένη μνήμη Flash. Παρακάτω αναφέρονται όλα τα βασικά χαρακτηριστικά του nRF24LE1.

4.2.1 Ultra low power consumption

- 500nA deep sleep mode
- 1.0µA memory retention mode
- 1.6µA memory retention with 32kHz XO mode
- 2µA register retention mode
- 3.0µA register retention with 32kHz XO mode
- 3.8mA active mode with CPU at 8MHz
- 11.1mA Radio TX at 0dBm
- 13.3mA Radio RX at 2Mbps on-air data rate

4.2.2 2.4GHz Radio

- 2.4GHz ISM band operation
- GFSK modulation, 1 or 2MHz bandwidth
- 0, -6, -12, and -18dBm programmable TX output power
- Configurable on-air data rate of 250kbps, 1Mbps or 2Mbps
- -94dBm RX sensitivity at 250kbps
- -82dBm RX sensitivity at 2Mbps
- -85dBm RX sensitivity at 1Mbps
- Excellent co-existence performance
- Compatible with 16MHz \pm 60ppm crystal

4.2.3 Enhanced ShockBurst™ hardware protocol accelerator

- Automatic packet assembly(Preamble, Address, CRC)
- Automatic packet detection and validation
- Dynamic payload length, 1 to 32Bytes
- Auto retransmit
- Auto Acknowledgment with optional payload
- 6-data pipe MultiCeiver™
- 3 separate 32Byte TX and RX FIFOs

4.2.4 Processor and Memory

- 8-bit Enhanced 8051 CPU
- Reduced instruction cycle time
- Up to 16MHz operation
- 32-bit multiplication/division unit
- 1KB SRAM + 256B IRAM
- 16KB program Flash
- 1KB data Flash + 512B high-endurance data Flash

4.2.5 Oscillators and Timers

- 16MHz XO
- 16MHZ RC
- 32kHz XO
- 32kHz RC
- 24-bit RTC
- 3x 16-bit timers/counters

4.2.6 System Peripherals

- 8x8 Galois Field Multiplier for AES acceleration
- Random Number Generator

4.2.7 Digital I/O

- SPI Master/Slave
- 2-wire Master/Slave
- UART

4.2.8 Analog I/O

- to 12-bit ADC with up to 14 input channels
- Analog comparator

4.2.9 GPIO

- Up to 31 GPIO pins
- Configurable type, direction, drive strength, and pull up/down
- Configurable pin to I/O peripheral assignment

4.2.10 Power supply

- Internal linear voltage regulator
- 1.9 to 3.6V supply range
- Temperature range of -40 to +80 °C

4.2.11 Package options

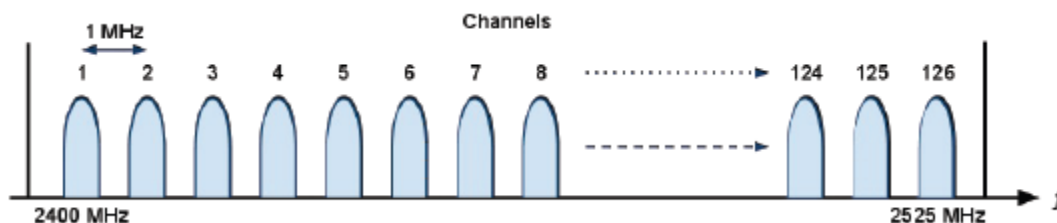
- 24-pin 4 x 4mm QFN (7 GPIO)
- 32-pin 5 x 5mm QFN (15 GPIO)
- 48-pin 7 x 7mm QFN (31 GPIO)

4.3 RF πομποδέκτης

Ο nrf24l01+ είναι ένας ολοκληρωμένος αλλά αυτόνομος RF πομποδέκτης. Η συχνότητα λειτουργίας που χρησιμοποιεί αυτός ο μικροελεγκτής είναι τα 2.4GHz και υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης 250kbps, 1Mbps και 2Mbps. Το nrf24l01+ προγραμματίζεται διαμέσου του SPI από τον κυρίως πυρήνα τον nRF4LE1. Ο RF πομποδέκτης μπορεί να χειρίζεται μέχρι έξη συνομιλίες στιγμιαία, το οποίο υλοποιείται με τα 6 διαφορετικά dataripes του nrf24l01+. Αυτό το χαρακτηριστικό ονομάζεται MultiCeiver από την Nordic Semiconductor [16].

4.3.1 Βασικά χαρακτηριστικά πομποδέκτη

Το nrf24l01+ RF πομποδέκτης χρησιμοποιεί Gaussian frequency-shift keying (GFSK) σχήμα διαμόρφωσης. Η GFSK διαμόρφωση είναι ένας ειδικός τύπος FSK διαμόρφωσης, όπου η πληροφορία ενσωματώνεται πάνω σε διακριτές αλλαγές στη συχνότητα της φέρουσας. Η GFSK διαμόρφωση χρησιμοποιείται ακόμα σε άλλες τεχνολογίες, όπως Bluetooth η Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT). Το nrf24l01+ RF υποστηρίζει μέχρι 126 ανεξάρτητα κανάλια συχνοτήτων (εικόνα 12) και λειτουργεί από τα 2400MHz μέχρι τα 2525MHz, αλλά μόνο στα πρώτα 83 κανάλια επιτρέπεται, σε όλες τις χώρες του κόσμου, η μετάδοση. Ειδικά στην Αμερική δεν επιτρέπεται η εκπομπή σε συχνότητες μεγαλύτερες των 2483MHz.



Εικόνα 12: 126 ανεξάρτητα κανάλια συχνοτήτων

Η συχνότητα εκπομπής και λήψης ρυθμίζεται από τον καταχωρητή RF_CH με βάση την παρακάτω σχέση:

$$F_o = 2400 + RF_CH \text{ MHz} \quad (4.1)$$

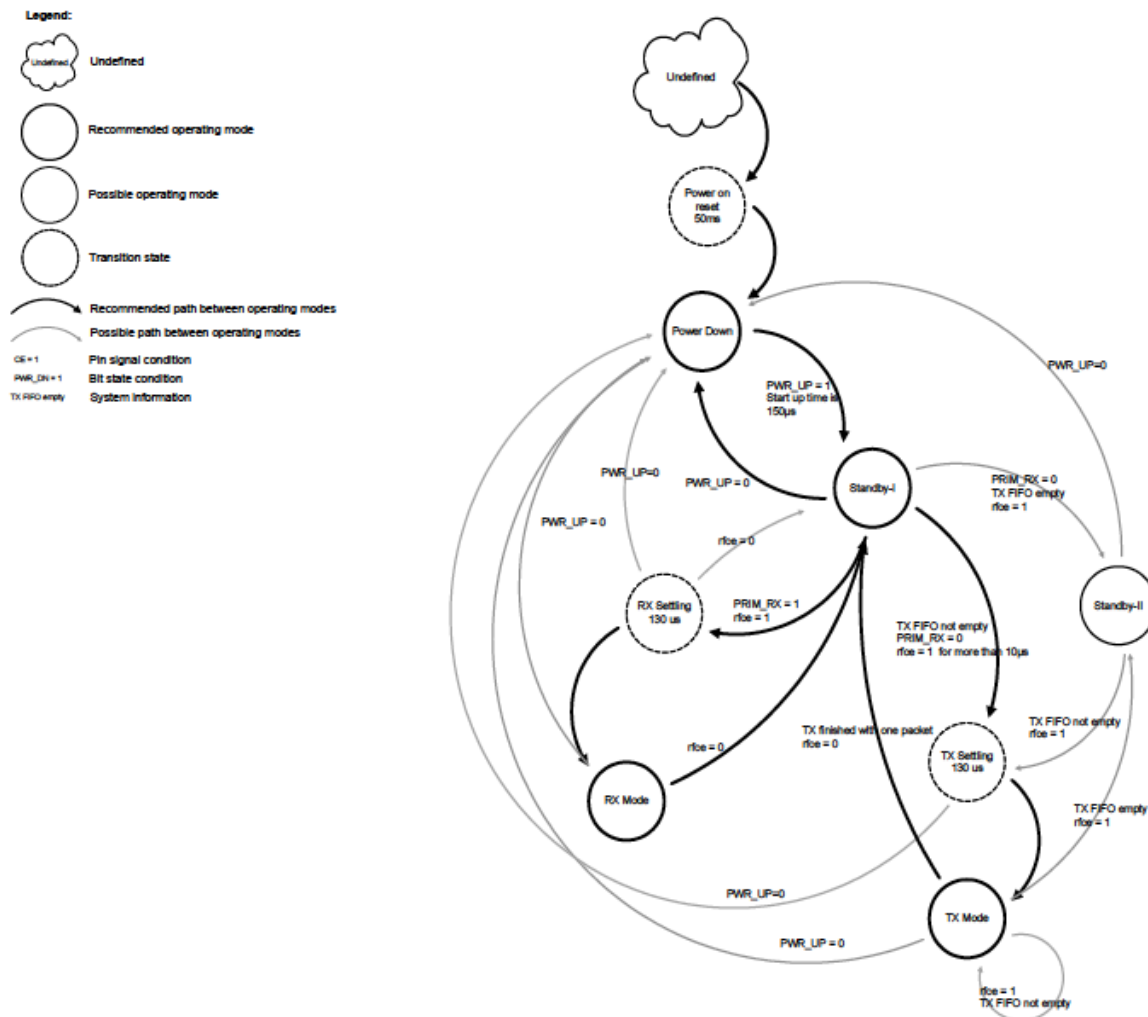
Στην περίπτωση που ο ρυθμός μετάδοσης είναι 250kbps και 1Mbps το nrf24l01+ χρησιμοποιεί εύρος ζώνης 1MHz ενώ στην περίπτωση ρυθμού μετάδοσης 2Mbps χρειάζεται εύρος ζώνης 2MHz. Όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης τόσο καλύτερη ευαισθησία στον δέκτη έχουμε, αλλά με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης μπορούμε να πετύχουμε μικρότερη κατανάλωση και μειώνουμε την πιθανότητα συγκρούσεων. Ο ρυθμός μετάδοσης ρυθμίζεται από το RF_DR bit στον καταχωρητή RF_SETUP.

4.3.2 Καταστάσεις λειτουργίας πομποδέκτη

Ο nrf24l01+, RF πομποδέκτης έχει διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας οι οποίες ελέγχονται από τον κυρίως επεξεργαστή. Αυτές οι καταστάσεις λειτουργίας είναι οι ακόλουθες:

- power down mode
- standby mode
- RX mode (receive)
- TX mode (transmit)

Το διάγραμμα καταστάσεων (εικόνα 13) δείχνει τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του πομποδέκτη και τους τρόπους μετάβασης. Μετά από reset ο RF πομποδέκτης εισέρχεται στην κατάσταση power down. Ακόμα και όταν ο πομποδέκτης είναι στην κατάσταση power down, ο επεξεργαστής μπορεί να ελέγξει το nrf24l01+ από το περιφερειακό SPI από το rfcsn bit στον καταχωρητή RFCON.



Εικόνα 13: Διάγραμμα καταστάσεων πομποδέκτη

4.3.3 Power Down Mode

Στην κατάσταση power down ο RF πομποδέκτης απενεργοποιείται και έχουμε την μικρότερη κατανάλωση. Όλες οι τιμές των καταχωρητών μπορούν να αναγνωστούν από το SPI. Ο πομποδέκτης εισέρχεται σε λειτουργία power down μηδενίζοντας το PWR_UP bit στον καταχωρητή CONFIG.

4.3.4 Standby-I mode

Θέτοντας το PWR_UP του καταχωρητή CONFIG σε λογικό 1, ο RF πομποδέκτης μπαίνει σε κατάσταση standby-I. Σε αυτή την κατάσταση ελαχιστοποιείται η κατανάλωση ρεύματος, ενώ παράλληλα διατηρούνται μικροί χρόνοι εκκίνησης. Η μετάβαση σε ενεργή κατάσταση συμβαίνει μόνο αν ενεργοποιηθεί το rfce bit. Ο RF πομποδέκτης επιστρέφει στην κατάσταση standby-I από τις TX και RX καταστάσεις.

4.3.5 Standby-II mode

Στην κατάσταση standby-II είναι ενεργοποιημένοι περισσότεροι buffers χρονισμού και έχουμε μεγαλύτερη κατανάλωση σε σύγκριση με τη standby-I κατάσταση. Ο RF πομποδέκτης μπαίνει σε κατάσταση standby-II αν το rfce bit τεθεί σε λογικό 1 σε λειτουργία πομπού και ο buffer του πομπού είναι άδειος. Όταν ένα νέο πακέτο εισέλθει στο buffer του πομπού, το PLL ξεκινά άμεσα και το πακέτο αποστέλλεται μετά από μία μικρή καθυστέρηση εκκίνησης του PLL (130μs). Οι τιμές των καταχωρητών διατηρούνται και το SPI μπορεί να ενεργοποιηθεί και στις δύο standby καταστάσεις.

4.3.6 RX mode

Στην κατάσταση RX ο RF πομποδέκτης ενεργοποιείται σαν δέκτης. Για να μπει ο RF πομποδέκτης σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας θα πρέπει να τεθεί σε λογικό 1 το PWR_UP bit, PRIM_RX bit και το rfce bit.. Στην RX κατάσταση ο δέκτης αποδιαμορφώνει όλα τα λαμβανόμενα σήματα. Όταν βρεθεί έγκυρο πακέτο, τα δεδομένα (PAYLOAD) εγγράφονται στον καταχωρητή RX. Ο RF πομποδέκτης παραμένει στην κατάσταση RX μέχρι ο επεξεργαστής να θέσει σε λογικό 0 το PWR_UP ή να ενεργοποιηθεί η λειτουργία Enhanced ShockBurst™.

4.3.7 TX mode

Στην κατάσταση TX ο RF πομποδέκτης ενεργοποιείται σαν πομπός. Για να μπει ο RF πομποδέκτης σε αυτή την κατάσταση λειτουργίας θα πρέπει να τεθεί σε λογικό 1 το PWR_UP bit και σε λογικό 0 το PRIM_RX bit. Τα δεδομένα θα πρέπει να εισέλθουν στον καταχωρητή TX και για να αποσταλούν θα πρέπει το rfce bit να τεθεί σε λογικό 1 για τουλάχιστον 10μs. Ο RF πομποδέκτης παραμένει σε αυτή την κατάσταση μέχρι να τελειώσει η μετάδοση του πακέτου. Αν το rfce bit τεθεί σε λογικό 0, ο RF πομποδέκτης επιστρέφει στην κατάσταση standby-I. Αν το rfce bit τεθεί σε λογικό 1, ο καταχωρητής TX καθορίζει την επόμενη ενέργεια. Αν ο

καταχωρητής TX δεν είναι άδειος ο RF πομποδέκτης στέλνει το επόμενο πακέτο. Αν ο καταχωρητής TX είναι άδειος ο RF πομποδέκτης επιστρέφει στην κατάσταση standby-II. Είναι πολύ σημαντικό ο RF πομποδέκτης να μην ενεργοποιείται στην κατάσταση TX για χρόνο μεγαλύτερο από 4ms. Αν ενεργοποιηθεί η λειτουργία Enhanced ShockBurst™, ο RF πομποδέκτης δεν ενεργοποιείται στην κατάσταση TX για χρόνο μεγαλύτερο από 4ms.

4.3.8 Enhanced ShockBurst™

Η λειτουργία Enhanced ShockBurst™ είναι ένα χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να ενεργοποιείται και να απενεργοποιείται στον RF πομποδέκτη του nRF24LE1. Αυτή η λειτουργία είναι σχεδιασμένη από την Nordic Semiconductor. Παρέχει μια σειρά από χαρακτηριστικά όπως

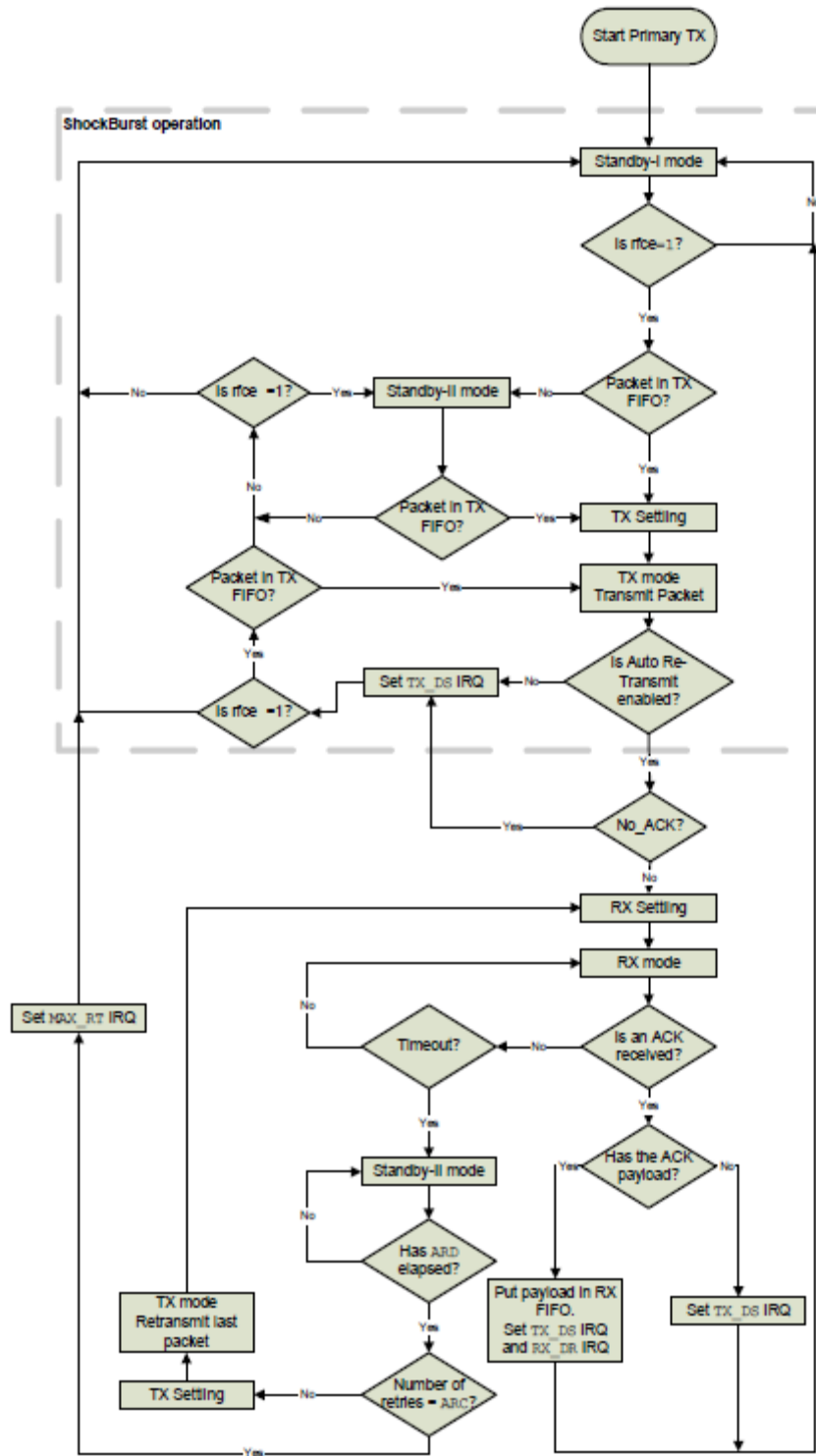
- 1 μέχρι 32 δυναμικό μέγεθος πακέτου
- Αυτόματος χειρισμός πακέτων
- Αυτόματη επιβεβαίωση
- Αυτόματη επανεκπομπή

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτρέπουν τον εύκολο χειρισμό πακέτων και την αυτόματη επανεκπομπή σε περίπτωση που ένα πακέτο χαθεί ή καταστραφεί. Η αυτόματη επανεκπομπή μπορεί να ενεργοποιηθεί ή να απενεργοποιηθεί και έχει κάποιες παραμέτρους που μπορούν να αρχικοποιηθούν. Αυτές οι παράμετροι είναι

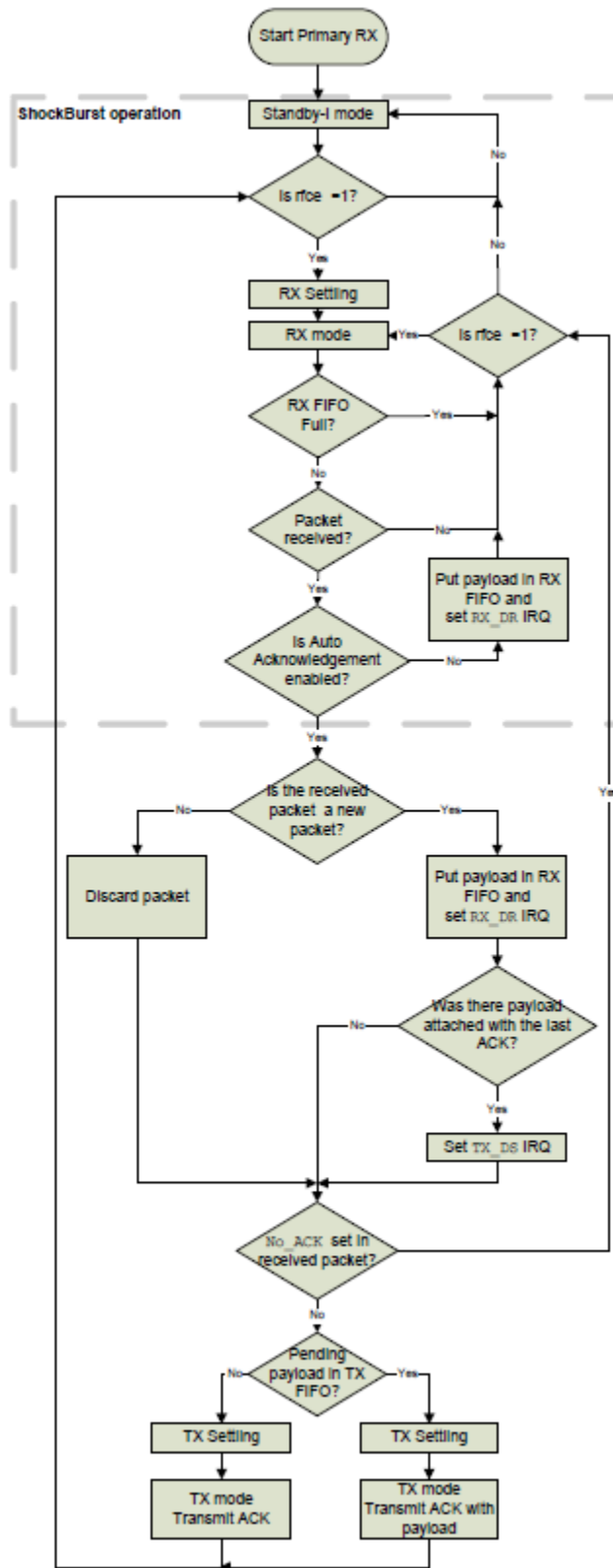
- ο μέγιστος αριθμός επανεκπομπών
- ο χρόνος μεταξύ των επανεκπομπών.

Αν ένα πακέτο χαθεί ή απορριφθεί λόγω μέγιστου αριθμού επανεκπομπών, τότε θα συμβεί διακοπή.

Από τη στιγμή που ο πομπός (PTX) στείλει στο δέκτη (PRX) ένα πακέτο, αν είναι ενεργοποιημένη η λειτουργία Enhanced ShockBurst™, τότε αυτόματα ο nrf24l01+ RF πομποδέκτης ενεργοποιεί το πομπό (PTX) σε λειτουργία δέκτη και περιμένει για μήνυμα επιβεβαίωσης (ACK). Αν το πακέτο ληφθεί από το δέκτη (PRX), τότε η λειτουργία Enhanced ShockBurst™ δημιουργεί άμεσα ένα πακέτο επιβεβαίωσης και το στέλνει το δέκτη (PTX). Αν ο πομπός (PTX) δεν λάβει πακέτο επιβεβαίωσης άμεσα, τότε η λειτουργία Enhanced ShockBurst™ αναλαμβάνει την αυτόματη επανεκπομπή του πακέτου μετά από συγκεκριμένο χρόνο και ενεργοποιεί το πομπό (PTX) σε λειτουργία δέκτη να περιμένει για μήνυμα επιβεβαίωσης (ACK). Η λειτουργία του πομπού (PTX) φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 14). Η λειτουργία του δέκτη (PRX) φαίνεται στη εικόνα (εικόνα 15).

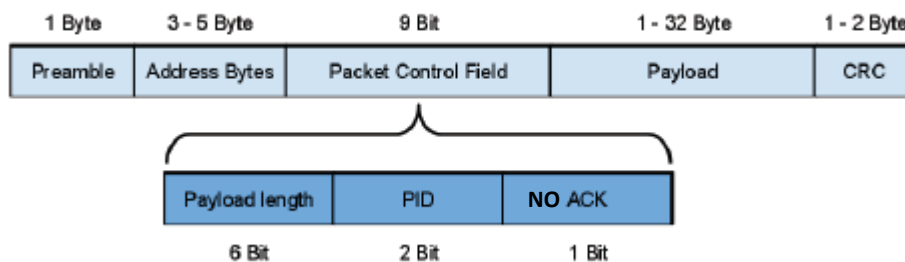


Εικόνα 14: Πομπός (PTX) με την λειτουργία Enhanced ShockBurst™



Εικόνα 15: Πομπός (PRX) με την λειτουργία Enhanced ShockBurst™

Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά της αυτόματης επιβεβαίωσης πακέτου και σε συνδυασμό με το δυναμικό μέγεθος πακέτου και την αυτόματη επανεκπομπή κάνουν την λειτουργία Enhanced ShockBurst™ πολύ πιο οικονομική σε κατανάλωση ενέργειας. Όλες οι παραπάνω δυνατότητες εφαρμόζονται στο πακέτο Enhanced ShockBurst™. Η δομή του πακέτου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 16).



Εικόνα 16: Δομή του πακέτου Enhanced ShockBurst™

4.3.8.1 Preamble

Το Preamble έχει μέγεθος 1byte και μπορεί να είναι 01010101 είτε 10101010 το οποίο εξαρτάτε από το πρώτο byte την διεύθυνση που ακολουθεί. Το Preamble χρησιμοποιείται για να συγχρονίσει την αποδιαμόρφωση της εισερχόμενης ακολουθίας στο δέκτη.

4.3.8.2 Address Bytes

Αυτή είναι η διεύθυνση του δέκτη. Μια διεύθυνση εξασφαλίζει τη σωστή ανίχνευση πακέτου από το δέκτη. Το πεδίο διεύθυνσης μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να είναι 3, 4 ή 5 bytes.

4.3.8.3 Packet Control Field

Τα πρώτα 6 bits του packet control field καθορίζουν το μέγεθος του πακέτου δεδομένων το οποίο μπορεί να έχει μήκος από 0-32 bytes.

Για παράδειγμα η ακολουθία 000000= 0 byte (χρησιμοποιείται σε πακέτα επιβεβαίωσης), η ακολουθία 100000= 32 bytes.

Το συγκεκριμένο πεδίο χρησιμοποιείται μόνο όταν είναι ενεργοποιημένη η δυνατότητα αποστολής πακέτου δυναμικού μεγέθους.

Τα επόμενα 2 bits χρησιμοποιούνται σαν αναγνωριστικό πακέτου (PID) το οποίο αυξάνει από τον πόμπο (PTX) σε κάθε νέο πακέτο που φτάνει για αποστολή. Αυτό προστατεύει το δέκτη από την λήψη του ίδιου πακέτου πολλαπλές φορές.

Το επόμενο 1 bit χρησιμοποιείται στη λειτουργία αυτόματης επιβεβαίωσης. Θέτοντας αυτό το bit σε λογικό ένα, ενημερώνουμε τον δέκτη ότι το πακέτο δεν θέλει αυτόματη επιβεβαίωση.

4.3.8.4 Payload

Στο περιεχόμενο του Payload μπαίνουν τα δεδομένα του χρήστη. Μπορεί να έχει μέγεθος από 0-32 bytes. Η λειτουργία Enhanced ShockBurst™ προσφέρει δύο διαφορετικές επιλογές για το μέγεθος του πακέτου. Το στατικό μέγεθος και το δυναμικό.

Στο στατικό μέγεθος πακέτου όλα τα πακέτα μεταξύ πομπού και δέκτη έχουν το ίδιο μέγεθος.

Στο δυναμικό μέγεθος πακέτου ο πομπός στέλνει πακέτα μεταβλητού μεγέθους στο δέκτη. Αυτό δίνει το πλεονέκτημα στα συστήματα με διαφορετικά μεγέθη πακέτου να μην χρειάζεται να προσαρμόζουν το μέγεθος τους, στο μέγεθος του μεγαλύτερου.

4.3.8.5 CRC (Cyclic Redundancy Check)

Το CRC είναι ένας μηχανισμός ανίχνευσης λαθών στο πακέτο. Μπορεί να έχει μέγεθος 1 ή 2 bytes και υπολογίζεται με βάση όλο το πακέτο Enhanced ShockBurst™.

Το πολυώνυμο για 1 byte CRC είναι $X^8 + X^2 + X + 1$.

Το πολυώνυμο για 2 bytes CRC είναι $X^{16} + X^{12} + X^5 + 1$.

Κανένα πακέτο Enhanced ShockBurst™ δεν γίνεται δεκτό αν το CRC αποτύχει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

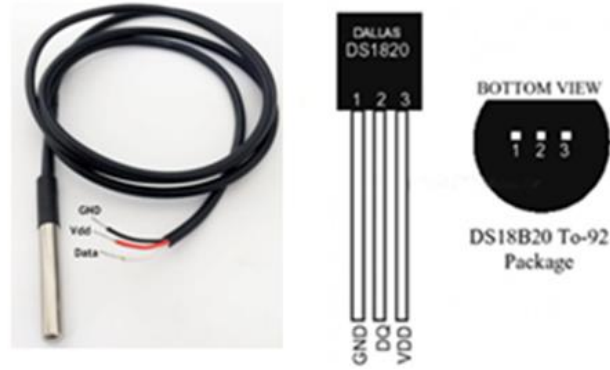
Αισθητήρια και περιφερειακά κυκλώματα

5.1 Εισαγωγή

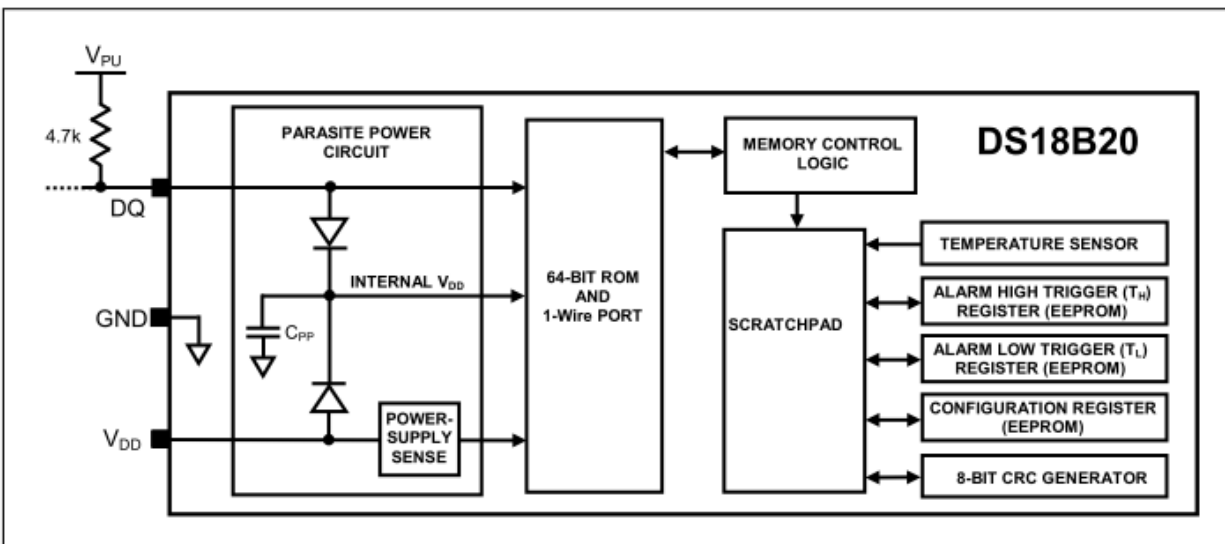
Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και βάρους. Την αναλογικό-ψηφιακή μετατροπή των μεγεθών την αναλαμβάνουν περιφερειακά κυκλώματα, που σε συνδυασμό με τους αισθητήρες μετατρέπουν τα φυσικά μεγέθη σε ακολουθίες από bits, τα οποία τελικά διαβάζονται από το nRF24LE1. Συγκεκριμένα, η λειτουργία των Enddevices μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικά κομμάτια, το κομμάτι ανάγνωσης των τιμών των αισθητήρων και το κομμάτι της επικοινωνίας με το Gateway. Παρακάτω παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων, καθώς και το κύκλωμα nRF24LE1-αισθητήρες μαζί με το πρόγραμμα λειτουργίας για την ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων και την εκτύπωση στο terminal.

5.2 Αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20 [17] (εικόνα 16). Το θερμόμετρο αυτό χρησιμοποιεί 1-Wire επικοινωνία και παρέχει μετρήσεις θερμοκρασίας από 9 έως 12 bits, ανάλογα με το resolution που έχει τεθεί. Έχει εύρος τιμών από τους -55 έως +125 °C και ακρίβεια ± 0.5 °C, όταν βρίσκεται ανάμεσα στους -10 έως +85 °C. Μπορεί, επιπλέον, να λειτουργήσει παρασιτικά στο κύκλωμα, τροφοδοτούμενο από την γραμμή δεδομένων, με αποτέλεσμα να μην χρειαστεί εξωτερική τροφοδοσία. Επίσης, κάθε τέτοιο θερμόμετρο φέρει έναν μοναδικό 64-bit κωδικό, πράγμα που του επιτρέπει την πολλαπλή σύνδεση τέτοιων αισθητήρων σε έναν μικροελεγκτή.



Εικόνα 17: DS18B20

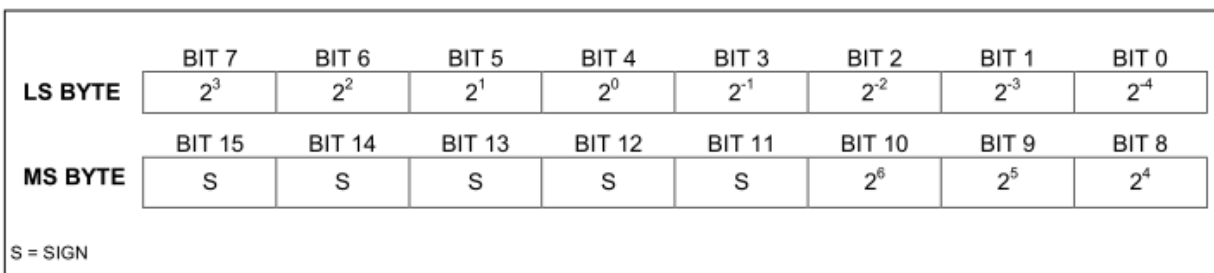


Εικόνα 18: Block διάγραμμα του DS18B20

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα.

- Διεπαφή 1-Wire(απαιτείται μόνο 1 pin για λειτουργία)
- Μέτρηση θερμοκρασιών από -55°C έως $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ακρίβεια από -10°C έως $+85^{\circ}\text{C}$
- Ορισμός ανάλυσης θερμοκρασίας από τον χρήστη (9-12bits)
- 64 bits σειριακός κωδικός σε κάθε αισθητήρα
- Δυνατότητα τροφοδοσίας από data pin. Εύρος τροφοδοσίας 3-5.5V
- Δυνατότητα μη πτητικής αποθήκευσης προτιμήσεων και ρυθμίσεων από τον χρήστη(upper and lower trigger points, alarm settings κλπ)
- 1.5mA μέγιστη κατανάλωση ρεύματος

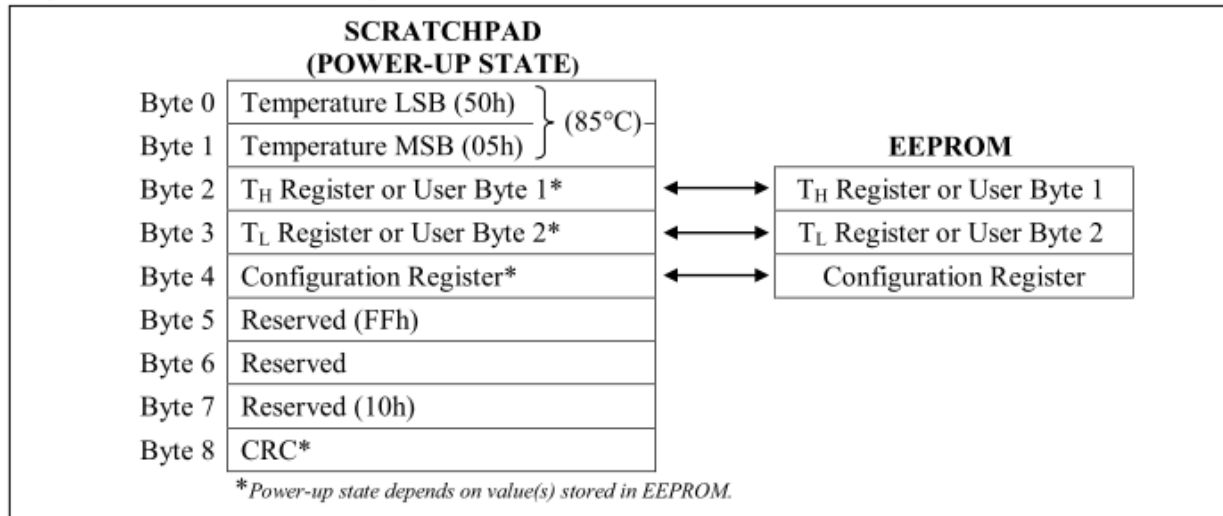
Η κύρια λειτουργία του DS18B20 είναι ο ψηφιακός αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας. Η ανάλυσή του ρυθμίζεται από τον χρήστη σε 9, 10, 11, 12 bits. Η προκαθορισμένη ανάλυση είναι 12 bits. Όταν τροφοδοτηθεί ο αισθητήρας, βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής. Για να ξεκινήσει μια μέτρηση θερμοκρασίας και να γίνει η μετατροπή της σε ψηφιακή τιμή, χρειάζεται να του σταλθεί το 44h (44 HEX), το οποίο είναι η Convert T εντολή. Μετά την μετατροπή, τα δεδομένα αποθηκεύονται σε έναν καταχωρητή 2 bytes (εικόνα 19) και το DS18B20 επιστρέφει στην κατάσταση αναμονής.



Εικόνα 19: Καταχωρητής θερμοκρασίας DS18B20

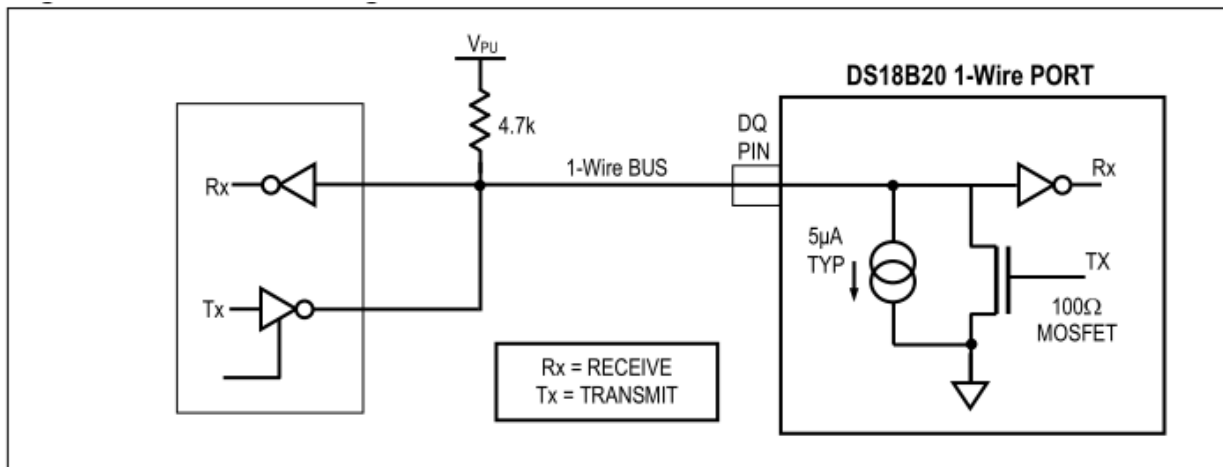
Τα sign bits (S) υποδηλώνουν αν η θερμοκρασία είναι θετική ή αρνητική. Για θετικούς αριθμούς S=0 και για αρνητικούς S=1. Εάν το DS18B20 έχει ρυθμιστεί για 12 bits ανάλυση, τότε όλα τα bits στον καταχωρητή θερμοκρασίας θα περιέχουν έγκυρα δεδομένα. Για 11 bits ανάλυση το bit 0 μένει απροσδιόριστο. Για 10 bits ανάλυση, τα bits 0 και 1 είναι απροσδιόριστα και για 9 bits ανάλυση απροσδιόριστα θα μείνουν τα bits 0, 1 και 2.

Η μνήμη του DS18B20 είναι οργανωμένη, όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 20). Αποτελείται από μία SRAM scratchpad (Static Ram) με μη πτητική (nonvolatile) EEPROM μνήμη, η οποία περιέχει τους TH και TL καταχωρητές. Αυτοί λειτουργούν σαν καταχωρητές γενικού σκοπού στην περίπτωση μας, όπως και ο καταχωρητής ρύθμισης (configuration register). Τα byte 0 και 1 περιέχουν το LSB και το MSB του καταχωρητή θερμοκρασίας και είναι για ανάγνωση μόνο. Τα byte 2 και 3 παρέχουν πρόσβαση στους TH και TL καταχωρητές. Το byte 4 περιέχει τα δεδομένα του configuration register. Τα byte 5,6 και 7 είναι για εσωτερική χρήση και δεν μπορούν να αντικατασταθούν. Τέλος, το byte 8 είναι μόνο για ανάγνωση και περιέχει τον CRC κωδικό, έναν κωδικό που δίνει μοναδική ταυτότητα στην συγκεκριμένη συσκευή που χρησιμοποιείται, μια λειτουργία που εμείς δεν θα χρησιμοποιήσουμε και δεν θα αναλύσουμε.



Εικόνα 20: Δομή της μνήμης DS18B20

Το σύστημα επικοινωνίας του αισθητήρα ονομάζεται 1-Wire, λόγω της μίας γραμμής που χρειάζεται για τον έλεγχό του και αποστολή των δεδομένων του, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Η αποστολή των δεδομένων γίνεται με το LSB πρώτο. Αυτό συμβαίνει μέσω μιας θύρας 3-state ή open-drain, η οποία απαιτεί μια εξωτερική pull-up αντίσταση περίπου 5kΩ και επιτρέπει την συσκευή να αποδεσμεύσει την γραμμή, όταν δεν αποστέλλει δεδομένα για να είναι διαθέσιμη προς χρήση από κάποια άλλη. Η 1-Wire θύρα του DS18B20 είναι open drain με το ισοδύναμο κύκλωμα να φαίνεται στην εικόνα (εικόνα 21).



Εικόνα 21: Τρόπος διασύνδεσης DS18B20

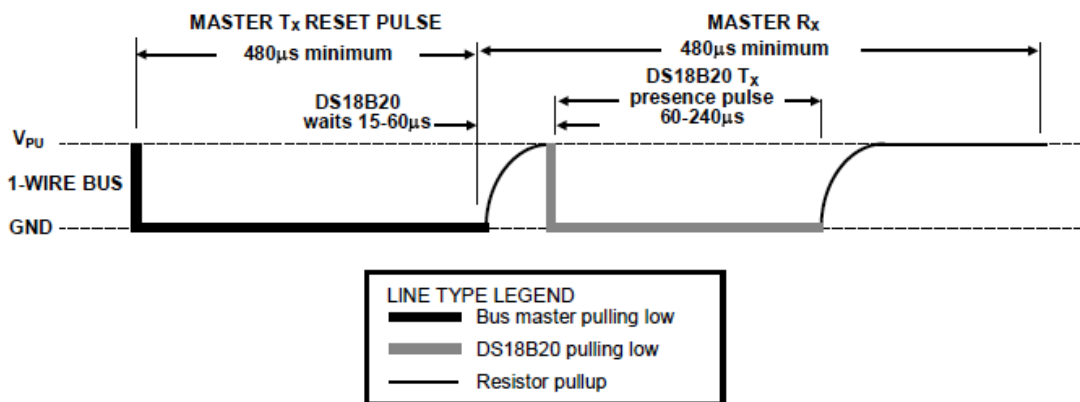
5.2.1 Ανάγνωση της θερμοκρασίας από το DS18B20

Η όλη διαδικασία για την πρόσβαση και απόκτηση των δεδομένων του αισθητήρα μπορεί να συνοψισθεί στα παρακάτω βήματα:

- Αρχικοποίηση
- Εντολή προς την ROM

- Λειτουργία του DS18B20

Όλη η επικοινωνία με το DS18B20 ξεκινά με την αρχικοποίησή του, δηλαδή με ένα παλμό reset ακολουθούμενο από ένα παλμό παρουσίας από το DS18B20. Όπως φαίνεται στην εικόνα (εικόνα 22), το DS18B20 στέλνει παλμό παρουσίας σαν απάντηση στον παλμό reset. Αυτό υποδεικνύει στον επεξεργαστή ότι το DS18B20 είναι συνδεδεμένο και έτοιμο για χρήση. Κατά την ακολουθία αρχικοποίησης ο επεξεργαστής στέλνει παλμό reset, δηλαδή γράφει στο δίαυλο λογικό μηδέν, για τουλάχιστο 480μs. Ο επεξεργαστής μετά απελευθερώνει τον δίαυλο και μπαίνει σε λειτουργία λήψης. Όταν ο δίαυλος απελευθερώνεται, μία αντίσταση 5kΩ σε συνδεσμολογία pull-up κρατά τον δίαυλο σε υψηλό δυναμικό. Όταν το DS18B20 αναγνωρίσει τη μετάβαση από λογικό 0 σε λογικό 1 αναμένει για 15μs με 60μs και μετά στέλνει παλμό παρουσίας γράφοντας λογικό 0 στον δίαυλο για 60μs με 240μs.



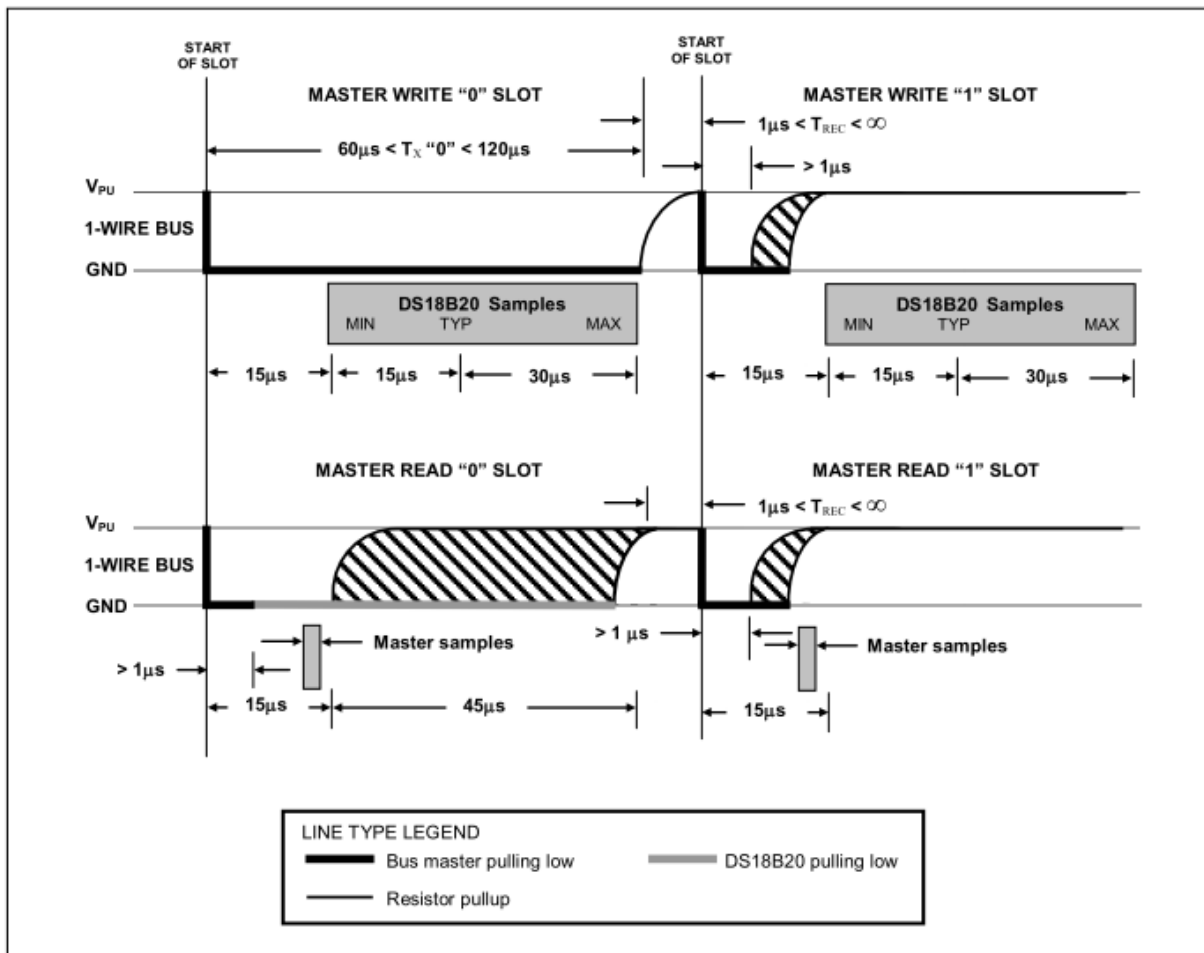
Εικόνα 22: Διάγραμμα αρχικοποίησης DS18B20

Όταν εντοπιστεί η συσκευή, τότε δίνονται μια σειρά από εντολές στην ROM, ώστε να δημιουργηθεί μια μοναδική 64-bit ταυτότητα της συσκευής. Με αυτόν τον τρόπο, θα ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες, οι οποίες είναι πιθανόν να είναι συνδεδεμένες. Καθώς θα χρησιμοποιήσουμε μόνο μια συσκευή, η πλειονότητα των εντολών για την ROM δεν μας είναι χρήσιμες. Γι' αυτό τον λόγο, χρησιμοποιούμε την εντολή [CCh], η οποία χρησιμοποιείται για να παραβλέψει όλη την διαδικασία αναγνώρισης της ROM και έτσι, να προχωρήσουμε στις εντολές λειτουργίας του αισθητήρα.

Εφόσον δοθούν οι εντολές προς την ROM, έρχεται η σειρά των εντολών λειτουργίας του DS18B20. Αυτές οι εντολές επιτρέπουν την εγγραφή στο scratchpad, την εκκίνηση μετατροπής θερμοκρασίας, ακόμα και τον προσδιορισμό του τρόπου τροφοδοσίας. Από το σύνολο όλων των εντολών χρησιμοποιούμε τις ακόλουθες: Μετατροπή θερμοκρασίας (Convert T) [44h] και ανάγνωση του scratchpad (Read scratchpad) [BEh]. Η Convert T ξεκινά την μετατροπή θερμοκρασίας, κατά την οποία τα δεδομένα αποθηκεύονται στα 2 bytes του καταχωρητή θερμοκρασίας, που βρίσκεται στην scratchpad μνήμη και το DS18B20 επιστρέφει σε κατάσταση αναμονής. Η Read scratchpad επιτρέπει στον master να διαβάσει τα δεδομένα του scratchpad. Η μεταφορά δεδομένων ξεκινά με το LSB του byte 0 και συνεχίζει μέχρι να φτάσει και να διαβάσει το byte 8 του scratchpad. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, η διαδικασία που θα ακολουθήσουμε για να πάρουμε την θερμοκρασία είναι η εξής:

- Ανίχνευση της συσκευής σύμφωνα με την εικόνα 22
- Αποστολή της εντολής [CCh] προς την συσκευή για την παράκαμψη του id της
- Αποστολή της εντολής [44h] για την μετατροπή της θερμοκρασίας
- Αποστολή της εντολής [BEh] για την ανάγνωση της θερμοκρασίας

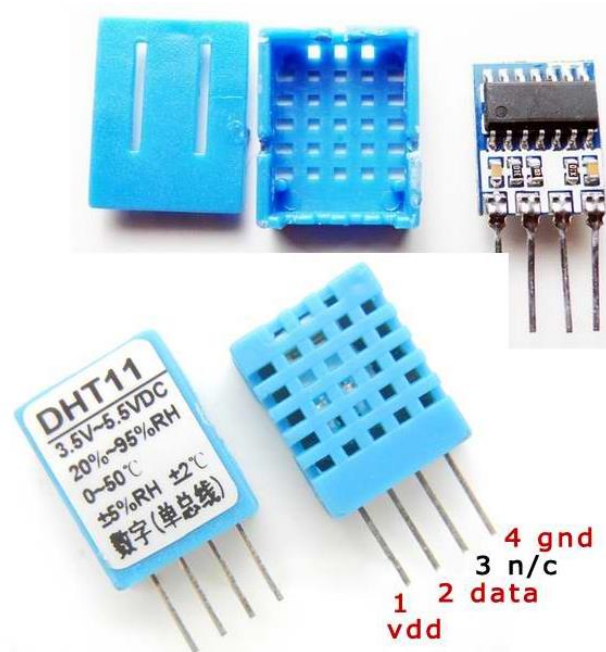
Οι χρονισμοί της αποστολής εντολών, όπως και της λήψης δεδομένων φαίνονται στην (εικόνα 23). Τα δεδομένα μεταφέρονται ανά bit σε χρονικές περιόδους, που ονομάζονται time slots. Οι time slots εγγραφής, όπως και ανάγνωσης, πρέπει να έχουν διάρκεια τουλάχιστον 60 μs με τουλάχιστον 1 μs διάστημα αναμονής ανάμεσα σε διαδοχικά slots. Η συνδεσμολογία του αισθητήρα φαίνεται στην εικόνα 5.4. Συνδέουμε τα pin 1 και 3, με την γη και την τροφοδοσία αντίστοιχα. Το data/control pin 2, το συνδέουμε με το pin του μικροελεγκτή μέσω του οποίου θα στείλουμε τις εντολές ελέγχου. Τέλος, πάντα βάζουμε μία αντίσταση 5k Ω σε συνδεσμολογία pull-up.



Εικόνα 23: Διαγράμματα χρονισμού εγγραφής και ανάγνωσης από το DS18B20

5.3 Αισθητήρας υγρασίας DHT11

Ο ψηφιακός αισθητήρας DHT11 (εικόνα 24) είναι ένας σύνθετος αισθητήρας ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θερμοκρασίας και υγρασίας. Ο DHT διαθέτει 4 pins, εκ των οποίων μας χρησιμεύουν τα 3 για τη σύνδεση και λειτουργία του, είναι συνδεδεμένος με έναν υψηλής απόδοσης οκτάμπιτο μικροελεγκτή, έτσι ώστε η αναλογικό-ψηφιακή μετατροπή να γίνεται από το ίδιο το DHT11 [18]. Διαθέτει σειριακή διεπαφή, και βοηθάει στην ολοκλήρωση συστημάτων γρήγορα και εύκολα. Έχει μικρό μέγεθος, χαμηλή κατανάλωση ισχύος και υποστηρίζει απόσταση μετάδοσης σημάτων μέχρι 20 μέτρα.

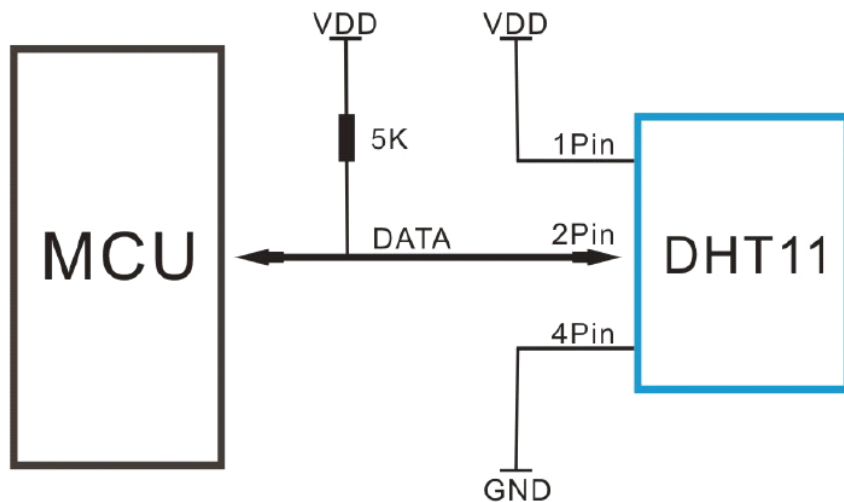


Εικόνα 24: DHT11

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα.

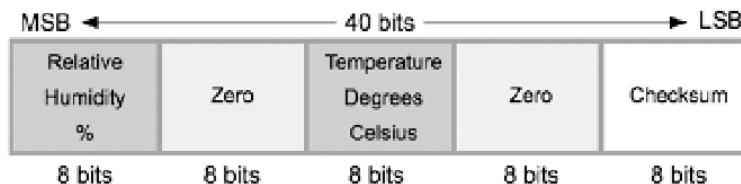
- Διεπαφή Single-Wire Two-Way (απαιτείται μόνο 1 pin για λειτουργία)
- Μέτρηση υγρασίας από 20-90%RH (ακρίβεια $\pm 5\%$)
- Μέτρηση θερμοκρασιών από 0-50°C (ακρίβεια $\pm 2^\circ\text{C}$)
- Ανάλυση υγρασίας-θερμοκρασίας (8bits)
- Εύρος τροφοδοσίας 3-5.5V
- Μέγεθος 15.5mm x 12mm x 5.5mm
- 2.5mA μέγιστη κατανάλωση ρεύματος

Το DHT11 τροφοδοτείται με τάση 3-5.5Volt DC, τοποθετώντας έναν πυκνωτή 100nF μεταξύ VDD και GND για το φιλτράρισμα της τροφοδοσίας. Η σύνδεση με τον κεντρικό μικροελεγκτή γίνεται μέσω εξωτερικής pull-up αντίστασης 5k Ω (εικόνα 25).



Εικόνα 25: Σύνδεση του DHT11 με τον μικροελεγκτή

Το σύστημα επικοινωνίας του αισθητήρα ονομάζεται Single-Wire Two-Way, λόγω της μίας γραμμής που χρειάζεται για τον έλεγχό του και αποστολή των δεδομένων. Η αποστολή των δεδομένων γίνεται με το MSB πρώτο. Η διαδικασία επικοινωνίας διαρκεί περίπου 4ms. Τα δεδομένα που λαμβάνονται από τον αισθητήρα χωρίζονται σε τρία μέρη, την υγρασία, την θερμοκρασία και το άθροισμα ελέγχου. Σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία αποστολής μεταφέρονται 40 bits δεδομένων. Το format των δεδομένων, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 26), ξεκινά με 8 bits την τιμή της υγρασίας, 8 bits μηδενικά, 8 bits η τιμή της θερμοκρασίας, 8 bits μηδενικά και τέλος, 8 bits το άθροισμα ελέγχου. Εάν η μεταφορά των δεδομένων είναι επιτυχείς, τότε το άθροισμα της υγρασίας και θερμοκρασίας είναι ίσο με το άθροισμα ελέγχου.

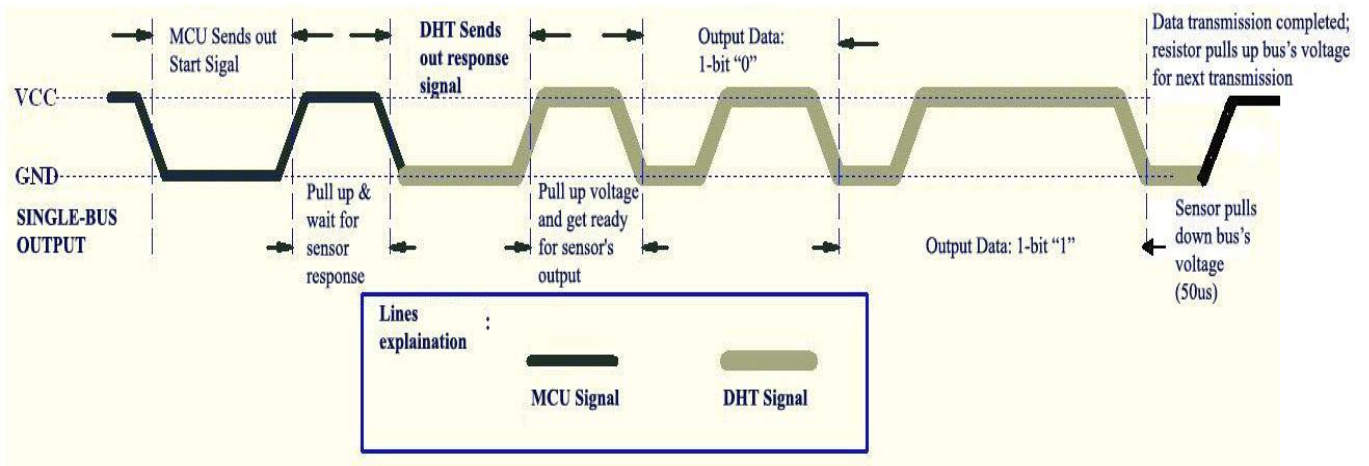


Εικόνα 26: Format δεδομένων DHT11

5.3.1 Ανάγνωση της υγρασίας από το DHT11

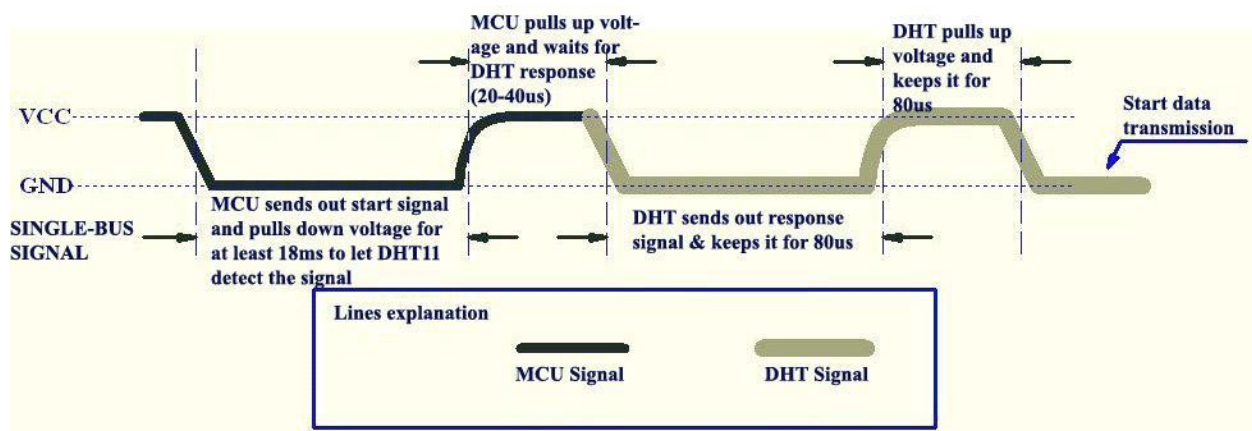
Η διαδικασία ανάγνωσης των δεδομένων ξεκινά με την αποστολή σήματος εκκίνησης από τον κεντρικό μικροελεγκτή. Το σήμα αυτό ουσιαστικά, ξυπνάει το DHT11 και από κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης, μπαίνει σε ενεργή κατάσταση και περιμένει μέχρι την ολοκλήρωση του σήματος εκκίνησης. Όταν ολοκληρωθεί το σήμα εκκίνησης το DHT11 στέλνει σαν απάντηση στον κεντρικό μικροελεγκτή τα 40 bits δεδομένων, στα οποία περιλαμβάνονται και η υγρασία και η θερμοκρασία. Χωρίς το σήμα εκκίνησης από τον κεντρικό μικροελεγκτή δεν μπορεί να υπάρξει απάντηση από το DHT11. Από την στιγμή που το

DHT11 στείλει την απάντηση περνά πάλι σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης μέχρι το επόμενο σήμα εκκίνησης από τον κεντρικό μικροελεγκτή (εικόνα 27).



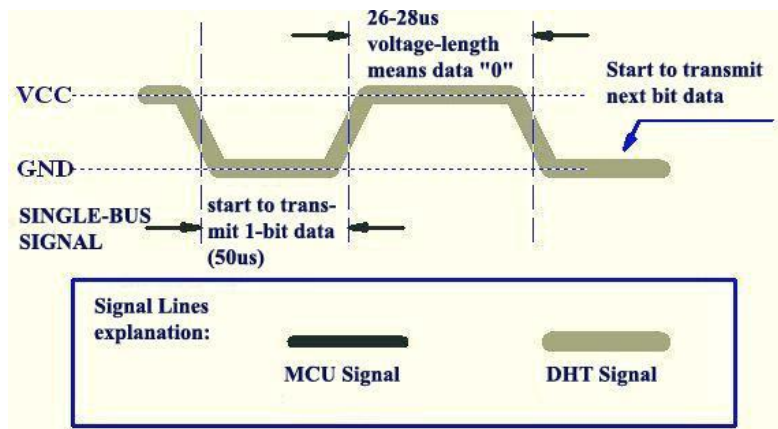
Εικόνα 27: Συνολική διαδικασία επικοινωνίας με το DHT11

Όταν ο δίαυλος επικοινωνίας είναι ελεύθερος είναι σε υψηλό δυναμικό. Η διαδικασία επικοινωνίας μεταξύ μικροελεγκτή και DHT11 ξεκινάει, γράφοντας ο μικροελεγκτής στο δίαυλο λογικό μηδέν για τουλάχιστο 18ms, για να εξασφαλιστεί η ανίχνευση του σήματος από το DHT11. Αμέσως μετά, ο κεντρικός μικροελεγκτής απελευθερώνει το δίαυλο και αναμένει για 20-40μs την απάντηση από το DHT11. Όλη αυτή η διαδικασία είναι το σήμα εκκίνησης. Από την στιγμή που το DHT11 λάβει και αναγνωρίσει το σήμα εκκίνησης, στέλνει σαν απάντηση στο δίαυλο λογικό μηδέν για τουλάχιστο 80μs. Τότε, απελευθερώνει τον δίαυλο για 80μs με αποτέλεσμα η pull-up αντίσταση να κρατά τον δίαυλο σε υψηλό δυναμικό και προετοιμάζεται το DHT11 να στείλει τα δεδομένα (εικόνα 28).

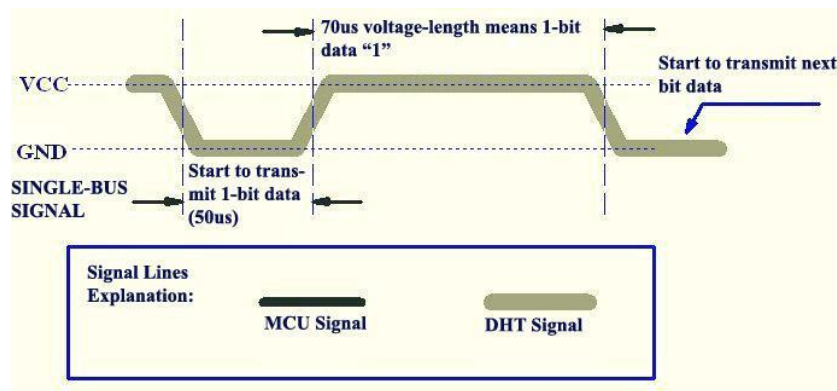


Εικόνα 28: Αποστολή σήματος εκκίνησης στο DHT11

Όταν το DHT11 στέλνει δεδομένα στον μικροελεγκτή, κάθε bit δεδομένων ξεκινά με 50μs λογικού μηδέν και μετά το μήκος της υψηλού δυναμικού κατάσταση καθορίζει αν το bit του δεδομένου είναι 0 ή 1. Αν το μήκος της υψηλού δυναμικού κατάσταση είναι 26-28μs έχουμε 0(εικόνα 29), αλλιώς αν το μήκος της υψηλού δυναμικού κατάσταση είναι 70μs έχουμε 1(εικόνα 30). Όταν μεταδοθεί και το τελευταίο bit το DHT11 στέλνει το δίαυλο σε χαμηλό επίπεδο τάσης για 50μs και απελευθερώνει τον δίαυλο για 80μs με αποτέλεσμα η pull-up αντίσταση να κρατά τον δίαυλο σε υψηλό δυναμικό.



Εικόνα 29: Αποστολή λογικού μηδέν από το DHT11



Εικόνα 30: Αποστολή λογικού ένα από το DHT11

Τέλος, αν το σήμα απάντησης από το DHT11 είναι συνεχώς σε υψηλό επίπεδο τάσης, δείχνει ότι DHT δεν ανταποκρίνεται σωστά και πρέπει να ελεγχτεί η σύνδεση.

5.4 Αισθητήρας βάρους και HX711 weight sensor module

Ο αισθητήρας βάρους που χρησιμοποιούμε, αποτελείται από ένα load cell και ένα weight sensor module HX711 (εικόνα 31). Το load cell αποτελείται από μια δοκό και μηχανισμό (strain gauge). Όταν στο ένα άκρο της δοκού υπάρχει δύναμη που κάμπτει τη δοκό, το μηχανισμό μετράει την παραμόρφωση στο σημείο στο οποίο είναι τοποθετημένο. Το μηχανισμό αποτελείται από ένα μεταλλικό φύλλο σε συγκεκριμένη γεωμετρία. Όταν αλλάζει ή παραμορφώνεται το μεταλλικό φύλλο, αλλάζει η ωμική του αντίσταση. Το μηχανισμό είναι σε διάταξη γέφυρας και συνδέεται χωρίς την παρεμβολή άλλων εξαρτημάτων πάνω στο HX711 το οποίο αναλαμβάνει την αναλογικό-ψηφιακή μετατροπή της παραμόρφωσης σε 24 bits ψηφιακή λέξη [19].



Εικόνα 31: Αριστερά το load cell, δεξιά το HX711

5.4.1 HX711 weight sensor module

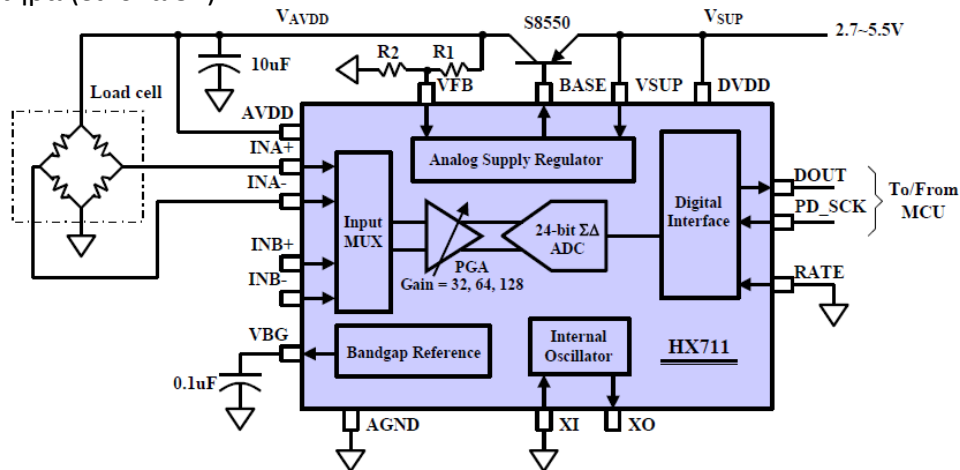
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα HX711 είναι ένας αναλογικό-ψηφιακός μετατροπέας, με ακρίβεια 24-bits. Έχει σχεδιαστεί για ζυγούς και βιομηχανικές εφαρμογές ελέγχου και διασυνδέεται άμεσα με γέφυρες αισθητήρων.

Παρακάτω αναφέρονται τα βασικά χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου κυκλώματος HX711.

- Διεπαφή Synchronous Serial Interface (απαιτείται 2 pin για λειτουργία)
- Πολυπλέκτης επιλογής καναλιού
- Προγραμματιζόμενος ενισχυτής κέρδους (PGA) 32,64 και 128
- On-chip power-on-reset
- Εύρος τροφοδοσίας 2.6-5.5V
- 1.5mA μέγιστη κατανάλωση ρεύματος
- Θερμοκρασία λειτουργίας: -40 ~ + 85 °C

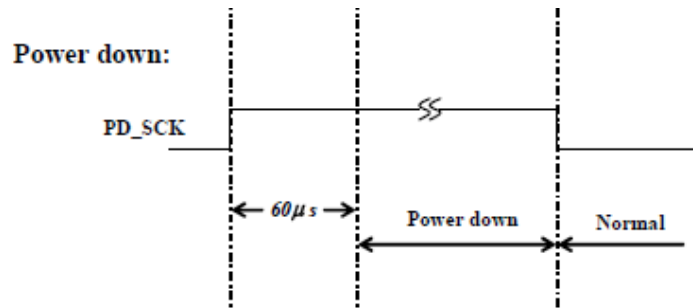
Ο πολυπλέκτης εισόδου επιλέγει το κανάλι A είτε το B και το οδηγεί στο χαμηλού θορύβου προγραμματιζόμενο ενισχυτή κέρδους (PGA). Το κανάλι A μπορεί να προγραμματιστεί με κέρδος 128 ή 64, όταν η τροφοδοσία είναι 5V. Το κανάλι B έχει σταθερό

κέρδος 32. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα HX711 περιλαμβάνει ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσης και εξαλείφει την ανάγκη ενός εξωτερικού ρυθμιστή για την παροχή τάσης για τον ADC και τον αισθητήρα (εικόνα 32).



Εικόνα 32: Σύνδεση του HX711 με το load cell

Όταν το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενεργοποιείται, το ενσωματωμένο power-on-reset κύκλωμα επανεκκινεί το ολοκληρωμένο. Ο ακροδέκτης εισόδου PD_SCK χρησιμοποιείται και για την χαμηλή κατανάλωση του HX711. Όταν ο ακροδέκτης PD_SCK είναι σε χαμηλό δυναμικό, το ολοκληρωμένο κύκλωμα είναι σε κανονική κατάσταση λειτουργίας. Όταν ο ακροδέκτης PD_SCK οδηγηθεί από χαμηλό σε υψηλό δυναμικό και παραμείνει για χρόνο μεγαλύτερο από 60μs, το HX711 μεταβαίνει σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης (εικόνα 33) και η κατανάλωση πέφτει από τα 1.4mA στα 0.3μA.



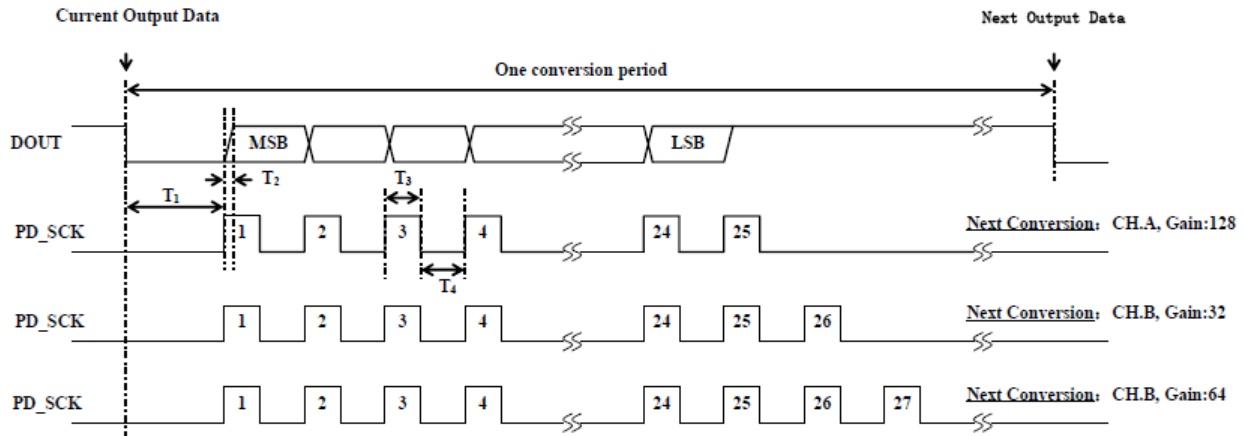
Εικόνα 33: Κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης

5.4.2 Ανάγνωση του βάρους από το HX711

Στην διαδικασία ανάγνωσης των δεδομένων, επιλογής καναλιού, επιλογής κέρδους και απενεργοποίησης χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες PD_SCK και DOUT.

Όταν τα δεδομένα εξόδου δεν είναι έτοιμα για ανάγνωση, ο ακροδέκτης DOUT είναι σε υψηλό δυναμικό. Η είσοδος ρολογιού στον ακροδέκτη PD_SCK πρέπει να είναι σε χαμηλό

δυναμικό. Όταν το δυναμικό στον ακροδέκτη DOUT είναι χαμηλό δηλώνει ότι η αναλογικό-ψηφιακή μετατροπή έχει ολοκληρωθεί και τα δεδομένα είναι έτοιμα προς ανάγνωση. Με την εφαρμογή 25~27 θετικών παλμών ρολογιού στον ακροδέκτη PD_SCK, τα δεδομένα εμφανίζονται στην έξοδο, στον ακροδέκτη DOUT (εικόνα 34).



Εικόνα 34: Έξοδος δεδομένων, επιλογή καναλιού και κέρδους

Κάθε παλμός στον ακροδέκτη PD_SCK εμφανίζει ένα bit στην έξοδο DOUT ξεκινώντας με το MSB πρώτα, μέχρι και τα 24 bits να εμφανιστούν στην έξοδο. Τα 24 bits δεδομένων είναι σε μορφή συμπληρώματος ως προς δύο. Ο 25^{ος} παλμός στον ακροδέκτη PD_SCK θα οδηγήσει τον ακροδέκτη DOUT σε υψηλό δυναμικό πάλι.

Η επιλογή του καναλιού και του κέρδους ελέγχεται από τον αριθμό των παλμών ρολογιού στον ακροδέκτη PD_SCK (εικόνα 35). Ο αριθμός των παλμών ρολογιού στον ακροδέκτη PD_SCK δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 25 ή μεγαλύτερος από 27 παλμούς, σε μία περίοδο μετατροπής, για να αποφευχθεί η πρόκληση σφάλματος στη σειριακή επικοινωνία.

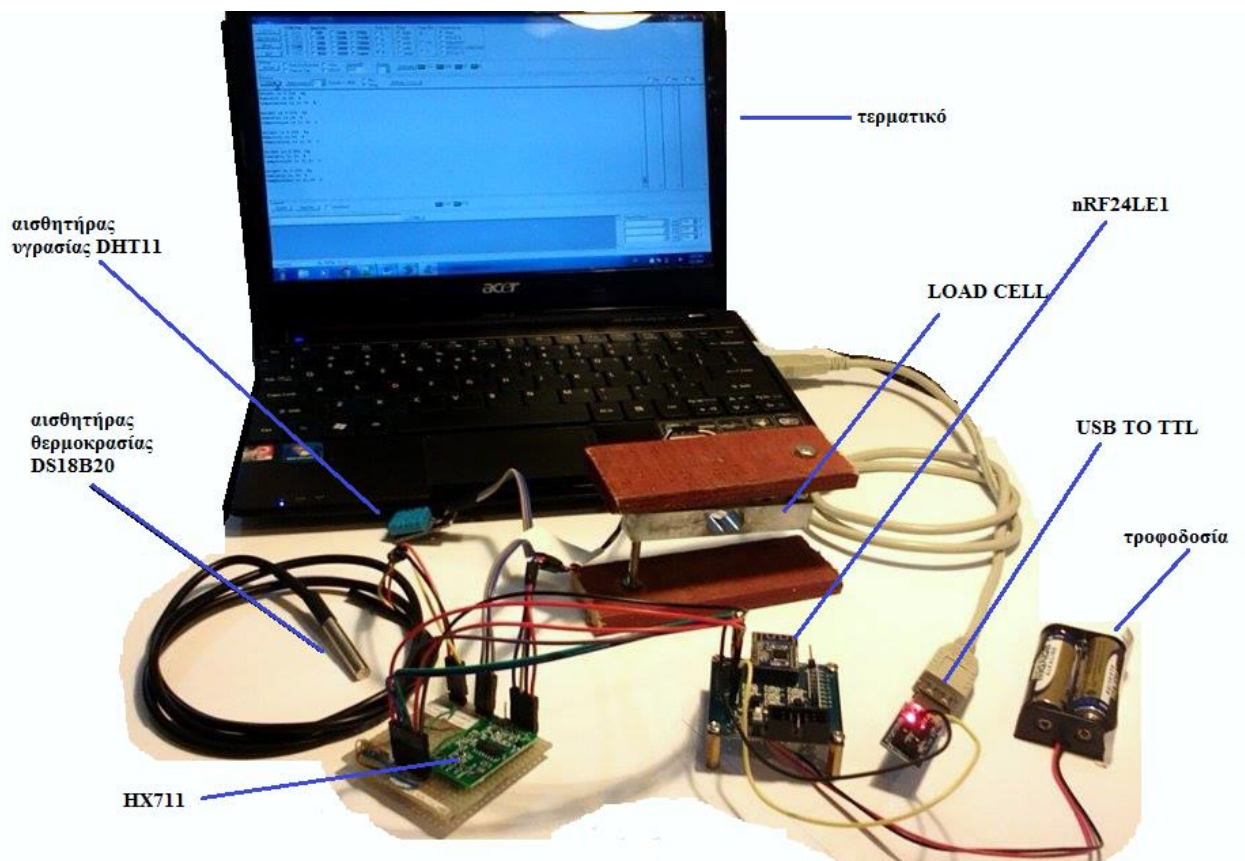
PD_SCK Pulses	Input channel	Gain
25	A	128
26	B	32
27	A	64

Εικόνα 35: Κανάλι εισόδου και επιλογή κέρδους

5.5 Το nRF24LE1 με τους αισθητήρες συνδεδεμένους

Το κύκλωμα αποτελείται από τον μικροελεγκτή, τους αισθητήρες και το τερματικό, όπου εμφανίζονται τα μετρούμενα μεγέθη των αισθητήρων (εικόνα 36).

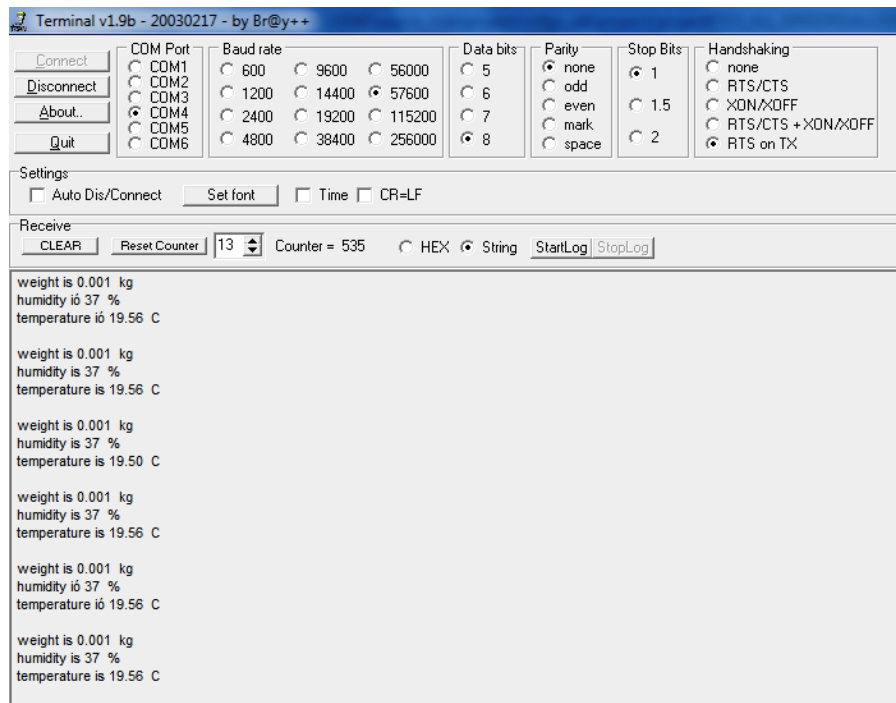
Συγκεκριμένα, ο κάθε αισθητήρας ανάλογα με τον τρόπο που επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιεί και τους ανάλογους ακροδέκτες του nRF24LE1. Στο φάκελο «all_sensors» βρίσκονται όλα τα αρχεία που θα αναφέρουμε στο παρών κεφάλαιο. Ο αισθητήρας υγρασίας DHT11 συνδέεται στον ακροδέκτη P0_0 του μικροελεγκτή και ορίζεται στο αρχείο dht11.h. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας DS18B20 συνδέεται στον ακροδέκτη P0_1 του μικροελεγκτή και ορίζεται στο αρχείο ds18b20.h. Ο αισθητήρας βάρους συνδέεται με το ολοκληρωμένο κύκλωμα HX711. Το κύκλωμα, με τη σειρά του, συνδέεται μέσω δύο ακροδεκτών με τον μικροελεγκτή, ο ακροδέκτης χρονισμού PD_SCK συνδέεται στον ακροδέκτη P1_6 του μικροελεγκτή ενώ ο ακροδέκτης μεταφοράς δεδομένων DOUT συνδέεται στον ακροδέκτη P1_5 του μικροελεγκτή και ορίζεται στο αρχείο hx711.h.



Εικόνα 36: Το nRF24LE1 με τους αισθητήρες και το τερματικό

Τα δεδομένα μεταφέρονται με την βοήθεια της σειριακής θύρας του μικροελεγκτή (UART) στην σειριακή θύρα (USB) του προσωπικού υπολογιστή (PC), αφού πρώτα παρεμβληθεί μετατροπέας επιπέδων τάσης USB to TTL. Την εμφάνιση των μετρούμενων μεγεθών την αναλαμβάνει το πρόγραμμα που έχουμε εγκαταστήσει στον προσωπικό υπολογιστή και ονομάζεται «Terminal» (εικόνα 37). Πρώτα, πρέπει να επιλέξουμε την θύρα

που είναι συνδεδεμένος ο μετατροπέας επιπέδων τάσης USB to TTL, την σωστή ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων και το μέγεθος του πακέτου.



Εικόνα 37: Το Terminal εμφανίζει βάρος, υγρασία και θερμοκρασία

Η ταχύτητα επικοινωνίας πρέπει να είναι η ίδια και στις δύο συσκευές για να επιτευχθεί επικοινωνία. Η ταχύτητα στη σειριακή θύρα του μικροελεγκτή ορίζεται στο αρχείο `main.c` στην εντολή `«hal_uart_init(UART_BAUD_57K6); /* initialize uart */»`, όπου παρατηρούμε ότι η ταχύτητα είναι 57600 bauds.

Η ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων γίνεται με τις παρακάτω εντολές.

- «Get_Weight()» ανάγνωση αισθητήρα βάρους, η δήλωση της συνάρτησης γίνεται στη βιβλιοθήκη `hx711.h` και ο ορισμός της στη βιβλιοθήκη `hx711.c`
- «Get_Humidity()» ανάγνωση αισθητήρα υγρασίας, η δήλωση της συνάρτησης γίνεται στη βιβλιοθήκη `dht11.h` και ο ορισμός της στη βιβλιοθήκη `dht11.c`
- «Get_Temperature()» ανάγνωση αισθητήρα θερμοκρασίας, η δήλωση της συνάρτησης γίνεται στη βιβλιοθήκη `ds18b20.h` και ο ορισμός της στη βιβλιοθήκη `ds18b20.c`

Η μορφοποίηση και αποστολή των τελικών μηνυμάτων γίνεται μέσω των παρακάτω εντολών.

```
sprintf(uarttxbuffer,"weight is %.3f kg\r\n",Get_Weight());
UART_TxString(uarttxbuffer);
os_wait (K_TMO, 1, 0);
sprintf (uarttxbuffer,"humidity is %d %%\r\n",Get_Humidity());
UART_TxString(uarttxbuffer);
os_wait (K_TMO, 1, 0);
sprintf(uarttxbuffer,"temperature is %.2f C\r\n\r\n",Get_Temperature());
UART_TxString(uarttxbuffer);
os_wait (K_TMO, 1, 0);
```

Η ανάλυση που ακολουθήσαμε στο παρών κεφάλαιο έχει ιδιαίτερη σημασία. Όπως θα δούμε και παρακάτω, το nRF24LE1 με τους αισθητήρες συνδεδεμένους αποτελεί το ίδιο κύκλωμα που χρησιμοποιούμε και στο δίκτυο για την υλοποίηση των Endevices. Η μόνη διαφορά στο λογισμικό που θα εγκατασταθεί στις συσκευές, εντοπίζεται στην ανάγκη χρήσης του RF πομποδέκτη για στην υλοποίηση του δικτύου.

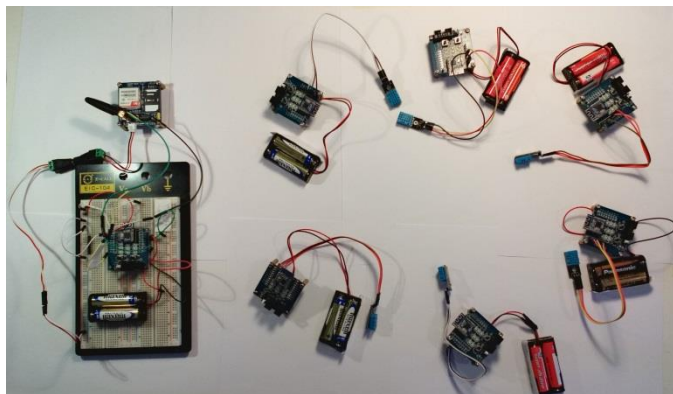
ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6

Υλοποίηση του WSN

6.1 Εισαγωγή

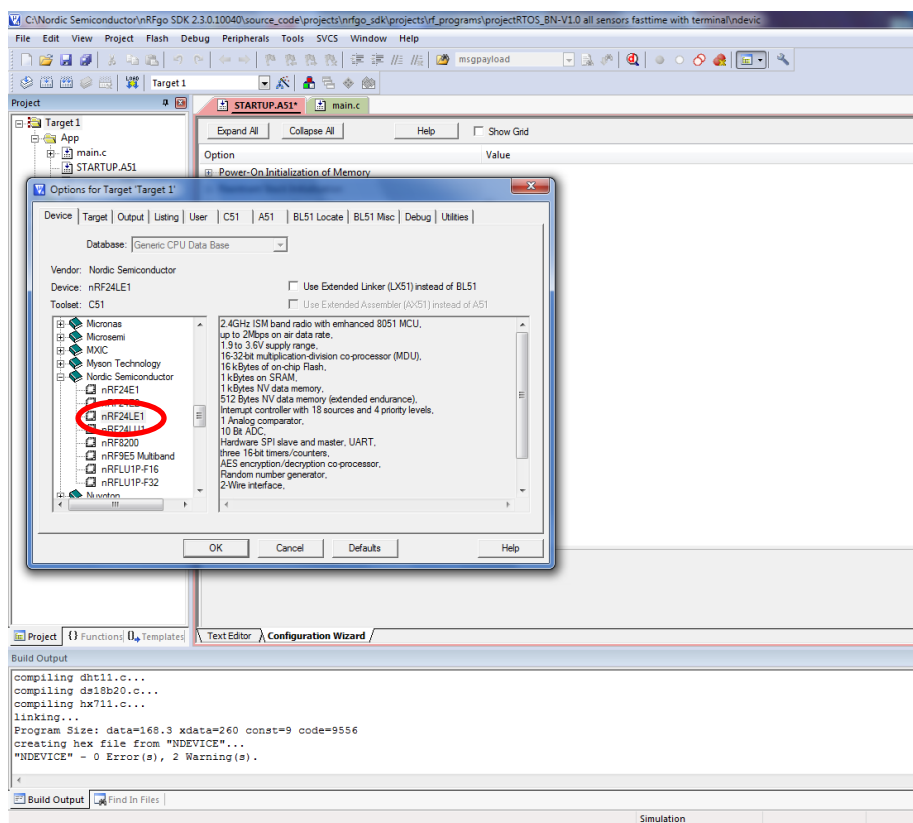
Η εφαρμογή αποτελείται από δύο βασικά κυκλώματα, το κύκλωμα των Endevices και το κύκλωμα του Gateway (εικόνα 38). Ο Gateway αποτελεί την κύρια συσκευή και είναι αυτή που σχηματίζει το ασύρματο δίκτυο. Συγχρονίζει τα Endevices και προσαρμόζει το ασύρματο δίκτυο στις αλλαγές. Μπορεί να αποτελέσει και γέφυρα διασύνδεσης με τερματικά, αλλά και άλλα δίκτυα, όπως σύνδεση και με το δίκτυο GSM. Επίσης, διατηρεί πληροφορίες για το δίκτυο όπως για το ποια Endevices είναι κάθε στιγμή στο δίκτυο, καθώς και τις τελευταίες τιμές μετρήσεων του δικτύου. Το άλλο βασικό κύκλωμα είναι αυτό των Endevices, το οποίο διαθέτει την λειτουργικότητα για να εκτελεί την συλλογή τιμών των αισθητήρων και να επικοινωνεί με το Gateway, χωρίς να μπορεί να διαδώσει πληροφορία αλλού στο δίκτυο. Αυτό της επιτρέπει να είναι αδρανής (sleep) κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, προσφέροντας μεγάλη διάρκεια ζωής στη μπαταρία. Τέλος, έχει μικρές απαιτήσεις σε μνήμη, γεγονός που την καθιστά πιο οικονομική σε σχέση με τον άλλο τύπο. Έπειτα, παρουσιάζονται όλα τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη και την ολοκλήρωση της εφαρμογής, και σε hardware αλλά και σε software επίπεδο. Τελικά, παρουσιάζεται η υλοποίηση και λειτουργία των βασικών κυκλωμάτων καθώς και ο τρόπος λειτουργίας του δικτύου.



Εικόνα 38: Αριστερά ο Gateway, δεξιά τα Endevices

6.2 Περιβάλλον ανάπτυξης μVision4 της Keil και ο mPro downloader

Χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον μVision4 της Keil το οποίο αποτελεί ένα IDE (Integrated Development Environment, ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης) σχεδιαστικό εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών για μικροελεγκτές βασισμένους σε μικροεπεξεργαστές τύπου 8051 και ARM. Είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης, που βασίζεται στο λειτουργικό σύστημα των Windows. Συνδυάζει έναν πλήρη source code editor και έναν project manager, δίνοντας με αυτόν τον τρόπο τη δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών για embedded systems και όχι μόνο, ενώ ταυτόχρονα μέσω του simulator έχουμε την ικανότητα να κάνουμε πλήρη εξομίωση ενός μικροελεγκτή με μηδενικό hardware στη διάθεση μας. Το μVision εμπεριέχει όλα τα εργαλεία του C compiler, macro assembler, linker/locator, και HEX file generator για τον έλεγχο σε επίπεδο γλώσσας προγραμματισμού, assembly και γλώσσας μηχανής. Το μVision επισπεύδει τη διαδικασία ανάπτυξης της ενσωματωμένης εφαρμογής. Υποστηρίζει πληθώρα υλοποιήσεων από πολλές εταιρείες. Ανάμεσά τους είναι και ο nRF24LE1 της Nordic, ο οποίος είναι και ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιούμε για την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

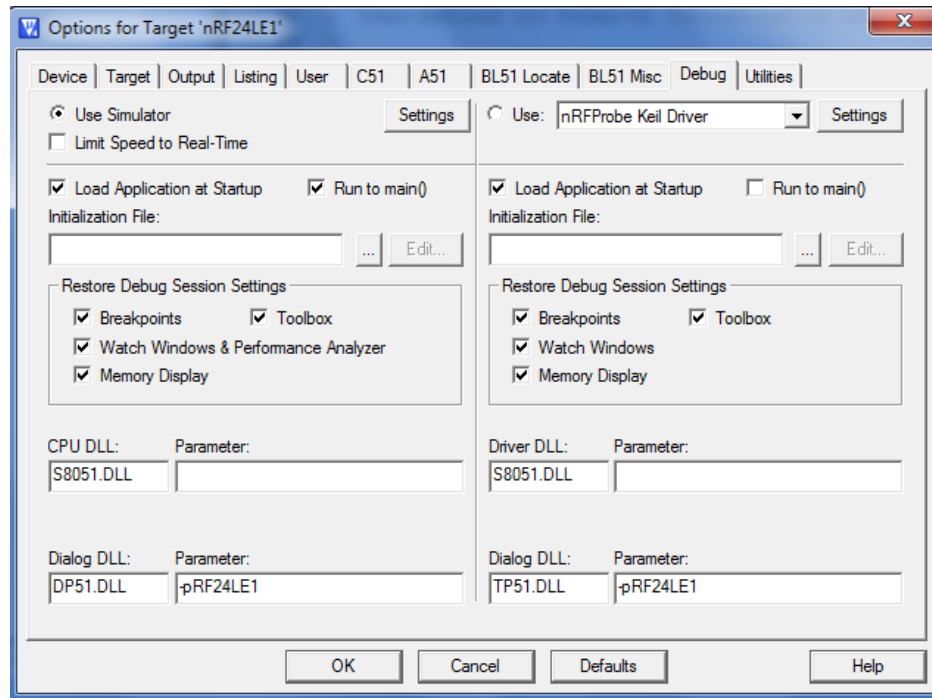


Εικόνα 39: Το περιβάλλον μVision4 της Keil

Ο μεταγλωττιστής, μας προσφέρει το πλεονέκτημα για την αυτόματη μεταφορά των αρχείων κάθε φορά που δημιουργούμε νέα εργασία (εικόνα 39). Τα συγκεκριμένα αρχεία εμπεριέχουν κώδικα προκειμένου να αρχικοποιηθούν και να εκκινήσουν τη CPU κατάλληλα για το συγκεκριμένο υλικό που υλοποιούμε. Με την χρήση των αρχείων αυτών είναι εύκολο να οριστούν, μέσω του οδηγού ρύθμισης (configuration wizard) του περιβάλλοντος ανάπτυξης, τα

ακριβή χαρακτηριστικά μικροϋπολογιστικού συστήματος, όπως το μέγεθος της στοίβας, του σωρού, η ενεργοποίηση/απενεργοποίηση των FIQ(Fast Interrupts Service), η ύπαρξη εξωτερικής μνήμης, το μέγεθος της και άλλες επιλογές που σχετίζονται με αυτήν. Επιπλέον, δυνατότητες δίνονται κάτω από την επιλογή "Options for Target", όπου μπορούν να καθοριστούν με ακρίβεια οι θέσεις μνήμης ROM (Read Only Memory) και RAM (Random Access Memory) που θα χρησιμοποιηθούν. Μέσω των επιλογών του debugger μπορούμε να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε τον εξομοιωτή (project options for target debug use simulator) ή αν θα επιλέξουμε να «τρέξουμε» την εφαρμογή μας σε πραγματικό υλικό [20].

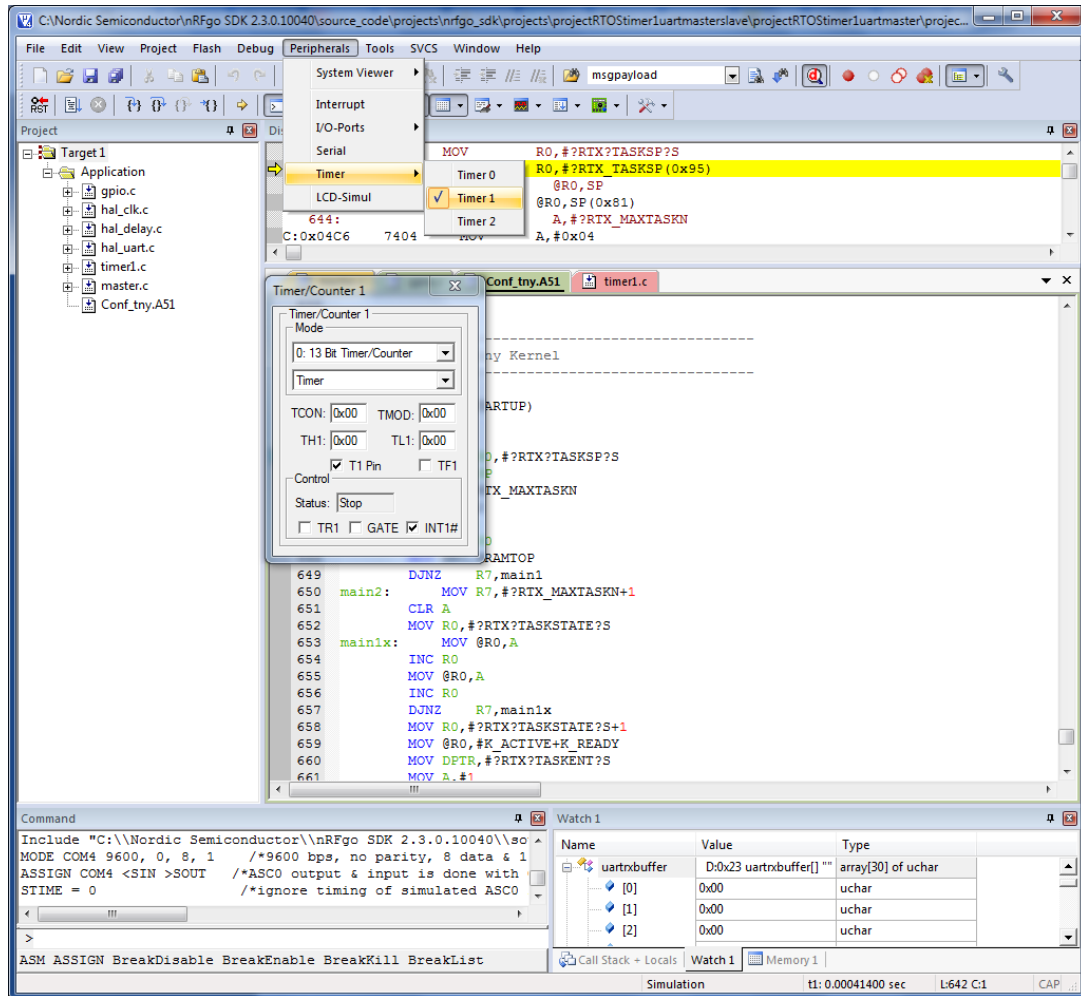
Μέσω των επιλογών του debugger μπορούμε να επιλέξουμε αν θα χρησιμοποιήσουμε τον εξομοιωτή (project options for target debug use simulator) ή αν θα επιλέξουμε να «τρέξουμε» την εφαρμογή μας σε πραγματικό υλικό.



Εικόνα 40: Οι επιλογές του debugger της Keil

Αν επιλέξουμε τον εξομοιωτή, ώστε να αναπτύξουμε την εφαρμογή μας κάτω από απόλυτα ελεγχόμενες συνθήκες και να ελέγξουμε κάθε παράμετρο, κατά τον χρόνο εκτέλεσης του, απαλλαγμένοι από τα προβλήματα του πραγματικού κόσμου, ο debugger μέσω high speed CPU και εξομοιωτή περιφερειακών μας προσφέρει τη δυνατότητα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο της λειτουργίας του προγράμματος (εικόνα 40). Δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη με πολύ εύκολο τρόπο να δημιουργήσει τις δικές του συναρτήσεις εισόδου, εξομοιώνοντας τις συνθήκες υπό τις οποίες θα λειτουργεί το μικροϋπολογιστικό σύστημα χωρίς να υπάρχει hardware διαθέσιμο. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα της βήμα προς βήμα εκτέλεσης του προγράμματος και ο έλεγχος κάθε καταχωρητή και κάθε θέση μνήμης ανά πάσα στιγμή. Μέσω του Logical Analyzer Window μπορούμε να δούμε και γραφικά τη διακύμανση οποιασδήποτε μεταβλητής, καταχωρητή, εισόδου κτλ επιλέξουμε. Επιπλέον, είναι εύκολη η

παρακολούθηση κάθε περιφερειακού που απαρτίζει τον μικροελεγκτή, καθώς το περιβάλλον μας δίνει την δυνατότητα να δούμε ανά πάσα στιγμή ποιες ρυθμίσεις έχουμε ορίσει διαμέσου του προγράμματός μας για τις περιφερειακές μας συσκευές (επιλογή peripherals) (εικόνα 41).



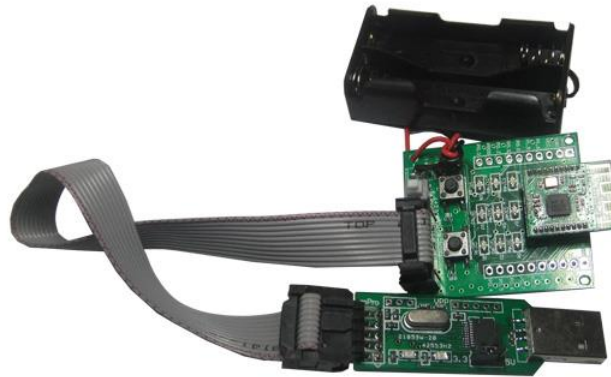
Εικόνα 41: Οι επιλογές peripherals

Για τον προγραμματισμό των συσκευών χρησιμοποιήθηκε ο mPro downloader (εικόνα 42). Ο downloader μεταφέρει το HEX αρχείο που έχει κατασκευαστεί από το μVision4 στον μικροελεγκτή.



Εικόνα 42: Ο mPro downloader

Η σύνδεση του mPro downloader με την βάση του nRF24LE1 γίνεται με την βοήθεια καλωδιοταινίας (εικόνα 43).



Εικόνα 43: Σύνδεση mPro downloader με την βάση του nRF24LE1

Εφόσον έχουν γίνει οι απαραίτητες συνδέσεις, πρέπει να κατέβει το HEX αρχείο στον μικροελεγκτή. Αυτό γίνεται με το πρόγραμμα mPro 1.6, αφού επιλέξουμε τον κατάλληλο μικροελεγκτή και HEX αρχείο που επιθυμούμε (εικόνα 44).

The screenshot displays the mPro V1.6 software interface. On the left, there is a control panel with buttons for 'Connect', 'Load File', 'Save To Bin', 'Write FLASH', 'Read FLASH', 'Write NV DATA', 'Read NV DATA', 'Erase FLASH', 'Erase NV DATA', 'Fuse_Config', and 'Verify'. Below these are checkboxes for 'Connect', 'Write FLASH', 'Encry', 'Reload', 'Write SN', 'Reset', 'Erase FLASH', and 'Verify', along with an 'Auto[F9]' button. A 'Success Count' and 'Serial Number (H)' field are also present. The main area shows a hex dump with columns for address (00-0F) and data. The log window at the bottom shows the following output:

```

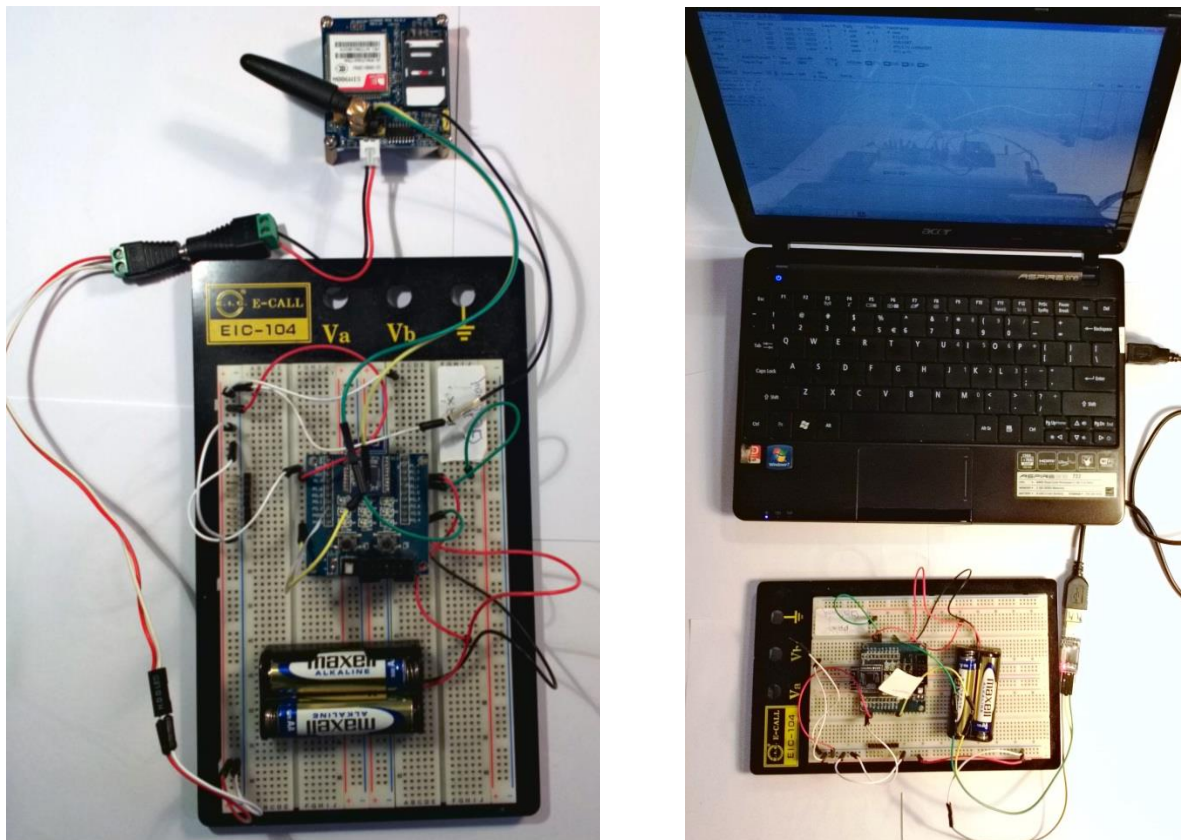
11:42:13 ڤ config file: C:\Users\Tassos\Desktop\mProV1.6\config.ini have loaded
11:42:14 ڤ selected device nRF24LE1, ID:FE FE FE
11:42:15 ڤ connected,read device ID ok!FE FE FE
11:42:18 ڤ load fileC:\Nordic Semiconductor\nRFgo SDK 2.3.0.10040\source_code\projects\nrfgo_sdk\projects\rf_programs\projectRTOS_BN-V1.0.all sensors fasttime with terminal\ndevice100\NDEVICE.hex 9566 Bytes
11:42:19 ڤ get version info fail
11:43:01 ڤ reading...
11:43:02 ڤ read FLASH finish
    
```

At the bottom left, there is a small image of a ribbon cable connector with pins labeled GND, SMD0, SMD1, RST, VCC, GND1, SMD2, SMD3, SMD4, VCC1.

Εικόνα 44: Το πρόγραμμα mPro 1.6

6.3 Gateway

Ο Gateway, όπως αναφέραμε και παραπάνω, αποτελεί την κύρια συσκευή και είναι αυτή που σχηματίζει το δίκτυο, συγχρονίζει τα Enddevices και προσαρμόζει το δίκτυο στις αλλαγές. Μπορεί να αποτελέσει και γέφυρα διασύνδεσης με τερματικά, αλλά και άλλα δίκτυα όπως σύνδεση και με το δίκτυο GSM. Επίσης, διατηρεί πληροφορίες για το δίκτυο, όπως για το ποια Enddevices είναι κάθε στιγμή στο δίκτυο καθώς και τις τελευταίες τιμές μετρήσεων του δικτύου. Αρχικά, ο Gateway έχει υλοποιηθεί με ένα nRF24LE1, το οποίο συνδέεται με έναν GSM πομποδέκτη. Ο GSM πομποδέκτης είναι το SIM900 που μας δίνει την δυνατότητα της απομακρυσμένης παρακολούθησης του ασύρματου δικτύου (εικόνα 45 αριστερά) σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.



Εικόνα 45: Αριστερά το nRF24LE1 με το SIM900, δεξιά συνδεδεμένο με το τερματικό

Ο Gateway έχει την δυνατότητα να συνδεθεί και με τερματικό (εικόνα 45 δεξιά) και να εμφανίζει τα δεδομένα του δικτύου στο Terminal, αφού πρώτα παρεμβληθεί μετατροπέας επιπέδων τάσης USB to TTL.

Στην συνέχεια, θα αναλύσουμε τη λειτουργία του Gateway παρουσιάζοντας την αλληλουχία των tasks που θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τις βασικές αρχές που ακολουθούμε για την υλοποίηση και λειτουργία του δικτύου.

6.3.1 Ανάλυση λειτουργίας Gateway

Η ανάλυση που θα παρουσιάσουμε παρακάτω μας προσφέρει μια πρώτη προσέγγιση στη λειτουργία και τον τρόπο υλοποίησης του Gateway. Μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα βασικά κομμάτια. Στο πρώτο, ο Gateway κάνει κάποιες αρχικοποιήσεις για την σωστή λειτουργία των περιφερειακών μονάδων. Στο δεύτερο βασικό κομμάτι ο Gateway κάνει αναζήτηση σε συγκεκριμένα ID, δηλαδή αν υπάρχουν στο δίκτυο Endevices με το συγκεκριμένο ID. Το τρίτο αποτελεί μια περίοδος αναμονής για εισερχόμενο SMS καθώς και αναμονή μέχρι να ξυπνήσουν όλα τα Endevices και τέλος, το τέταρτο είναι η λήψη των μετρήσεων που αποστέλλουν τα Endevices. Όλη ανάλυση παρουσιάζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 46) και αποτελεί τον κύριο κορμό του προγράμματος του Gateway. Πρέπει να τονίσουμε ότι στην εκτέλεση του προγράμματος δημιουργούνται, εκτελούνται και διαγράφονται τα διάφορα tasks, ενώ σε κάποια σημεία έχουμε και παράλληλη εκτέλεση των tasks.

Αρχικά, ο Gateway εκτελεί το task «init» το οποίο είναι υπεύθυνο για την αρχικοποίηση των περιφερειακών που θα χρησιμοποιήσει στην συνέχεια. Ρυθμίζει την πηγή χρονισμού του επεξεργαστή σε συγκεκριμένη συχνότητα. Αρχικοποιεί τη σειριακή θύρα, δηλαδή ορίζει την ταχύτητα επικοινωνίας το μέγεθος του πακέτου και αρχικοποιεί το ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC) για το κάθε πόσο χρόνο θα δίνει διακοπή. Αφού ολοκληρώσει τις παραπάνω διαδικασίες, το task «init» δημιουργεί το task «find nrf devices» και διαγράφεται.

Το task «find nrf devices» είναι υπεύθυνο για τον εντοπισμό των διαθέσιμων Endevices στο δίκτυο και την εκκίνησή τους. Ουσιαστικά, ο Gateway κάνει αναζήτηση σε ένα πλήθος διευθύνσεων που τις ονομάζουμε ID. Δεδομένου ότι κάθε Endevise έχει μοναδικό ID όταν βρεθεί η αναζητούμενη διεύθυνση σημαίνει ότι το Endevise είναι παρόν στο δίκτυο και ο Gateway καταχωρεί ότι η συγκεκριμένη διεύθυνση βρέθηκε, έτσι ώστε να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή τον αριθμό των Endevices που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο και να προσαρμόζει τον χρόνο αναμονής λήψης πακέτων από τα Endevices. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αναζήτησης-εντοπισμού των Endevices, ο Gateway στέλνει μήνυμα εκκίνησης προς όλες τις συσκευές του δικτύου, όπως θα δούμε και παρακάτω. Το μήνυμα εκκίνησης, δίνει την εντολή στα Endevices να εκκινήσουν τα ρολόγια τους. Στη συνέχεια, ο Gateway εκκινεί το ρολόι (RTC) του, το οποίο θα μας παράγει σήματα ελέγχου σε δύο προκαθορισμένους χρόνους στα 4 λεπτά και στα 6 λεπτά. Αξίζει εδώ να σημειώσουμε, ότι το RTC είναι μία αυτόνομη περιφερειακή μονάδα του μικροελεγκτή που η λειτουργία του είναι ανεξάρτητη. Αυτά τα χρονικά διαστήματα είναι πολύ σημαντικά στην λειτουργία και κατανάλωση του ασύρματου δικτύου. Όπως θα δούμε και παρακάτω, κάθε 4 λεπτά τα Endevices θα ξυπνάνε και θα αποστέλλουν τα μετρούμενα μεγέθη στο Gateway και από το 4^ο μέχρι το 6^ο λεπτό ο Gateway αναμένει τις τιμές των κόμβων περιμένει δηλαδή για 2 λεπτά τις τιμές από τα Endevices. Ο χρόνος αυτός είναι υψίστης σημασίας καθώς έχει να κάνει με τον αριθμό των Endevices που υπάρχουν στο δίκτυο και θα πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα με τον αριθμό τους για να μην χάνουμε μηνύματα από τους κόμβους. Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες, το tasks «find nrf devices» δημιουργεί τα tasks «receive send sms or exceptional incident», «supervisor» και διαγράφεται.

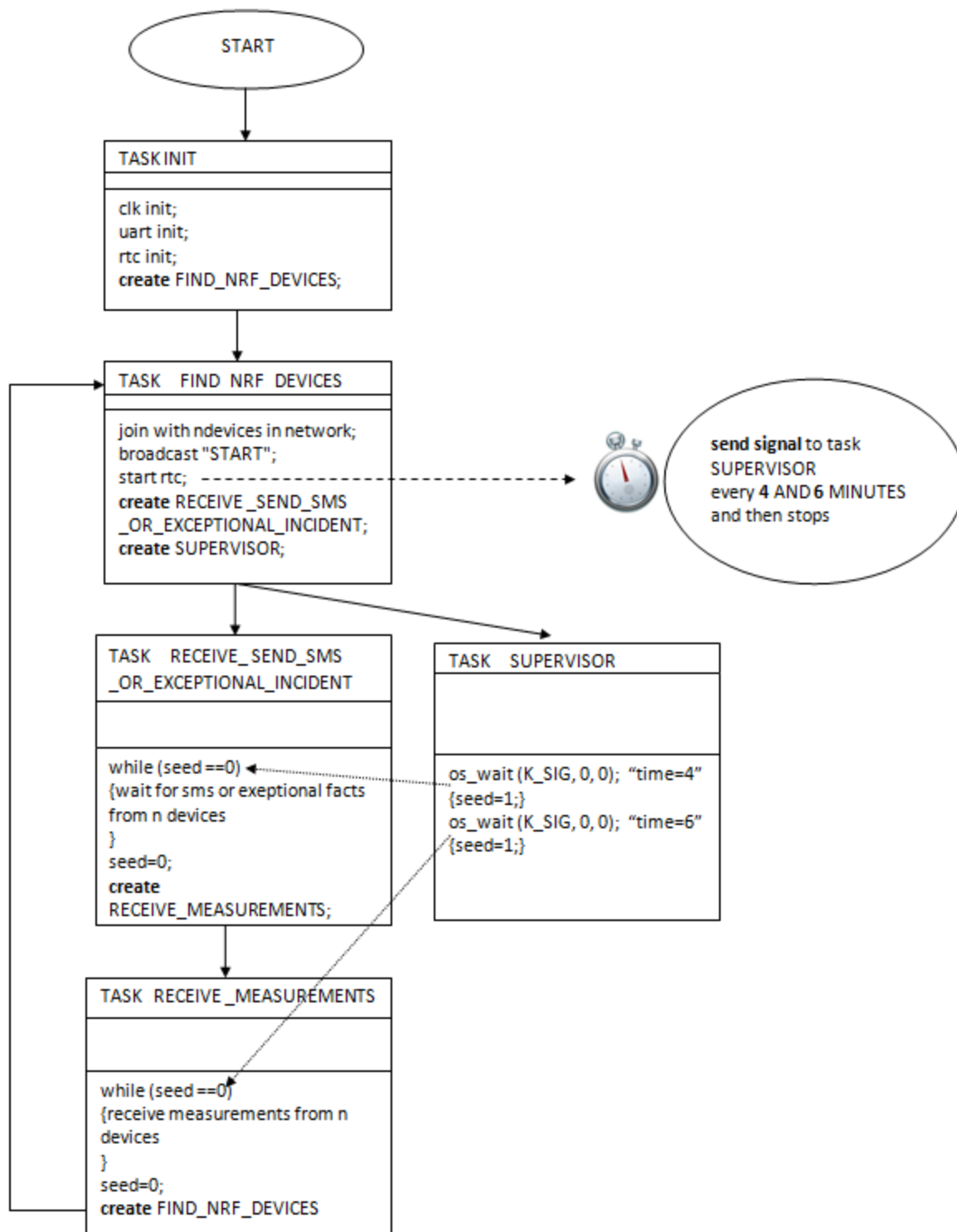
Το task «receive send sms or exceptional incident» εκτελείται για 4 λεπτά. Στο συγκεκριμένο task ο Gateway αναμένει για 4 λεπτά πριν την λήψη τιμών από τα Endevices του

ασύρματου δικτύου. Μέσα σε αυτόν το χρόνο ο Gateway μπορεί να εξυπηρετήσει εισερχόμενα SMS από τον χρήστη του δικτύου. Επίσης, θα μπορούσε να εξυπηρετήσει άμεσα και επείγοντα συμβάντα ακραίων τιμών στις μετρήσεις των αισθητήρων του ασύρματου δικτύου. Το συγκεκριμένο task λειτουργεί παράλληλα με το task «supervisor» από το οποίο και ελέγχεται μέσω κοινής μεταβλητής. Αφού ολοκληρώσει τις παραπάνω διαδικασίες, το task «receive send sms or exceptional incident» δημιουργεί το task «receive measurements» και διαγράφεται.

Το task « supervisor » είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία μέσω σημάτων με το περιφερειακό RTC και μέσω κοινών μεταβλητών με το task «receive send sms or exceptional incident» και το task «receive measurements». Συγκεκριμένα, το task « supervisor » περιμένει μέχρι να δεχθεί σήματα από το RTC. Το πρώτο σήμα που θα δεχθεί από το RTC σημαίνει ότι έχουν περάσει τα 4 πρώτα λεπτά, οπότε και ενημερώνει το task «receive send sms or exceptional incident» ότι ο χρόνος αναμονής για SMS έχει παρέλθει και τα Endevices έχουν «ξυπνήσει» και είναι έτοιμα για αποστολή μετρήσεων. Αυτό το καταφέρει με την χρήση της κοινής μεταβλητής «seed» η οποία βρίσκεται στον έλεγχο «while» και η τιμή της αλλάζει από το task « supervisor ». Το δεύτερο σήμα που θα δεχθεί από το RTC, σημαίνει ότι έχουν περάσει 6 λεπτά δηλαδή 2 λεπτά από το προηγούμενο σήμα. Εδώ πρέπει να πούμε ότι έχει ήδη δημιουργηθεί το task «receive measurements» και το task « supervisor » αναλαμβάνει να ενημερώσει το task «receive measurements» με χρήση της κοινής μεταβλητής «seed» ότι ο χρόνος της λήψης των μετρήσεων που αποστέλλουν τα Endevices έχει παρέλθει. Αφού ολοκληρωθούν οι παραπάνω διαδικασίες, το task «supervisor» διαγράφεται.

Το task «receive measurements» εκτελείται για 2 λεπτά. Στο συγκεκριμένο task ο Gateway αναμένει από το 4^ο μέχρι το 6^ο λεπτό την λήψη τιμών από τα Endevices του ασύρματου δικτύου. Η χρήση ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος αναμονής λήψης είναι πολύ σημαντική και έχει άμεση σχέση με τον αριθμό των Endevices που υπάρχουν κάθε φορά στο δίκτυο. Η ενημέρωση του task «receive measurements», ότι ο χρόνος των 2 λεπτών έχει παρέλθει, γίνεται όπως αναφέραμε και παραπάνω με την χρήση της κοινής μεταβλητής «seed» που ουσιαστικά ξεκλειδώνει τον έλεγχο «while». Στην συνέχεια, και αφού το task «receive measurements» έχει ολοκληρώσει την διαδικασία της λήψης, δημιουργεί το task «find nrf devices» και διαγράφεται.

Τέλος, πρέπει να αναφέρουμε την λειτουργία του περιφερειακού RTC το οποίο αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα της λειτουργίας του δικτύου. Αφού αρχικοποιηθεί και λάβει εντολή εκκίνησης με χρήση σημάτων, ενημερώνει κάθε 4 και 6 λεπτά το κυρίως πρόγραμμα και συγκεκριμένα το task «supervisor» μετά την αποστολή και του δεύτερου σήματος το ρολόι σταματά. Η εκκίνησή του θα ξαναγίνει στον επόμενο κύκλο λειτουργίας του Gateway από το task «find nrf devices». Το RTC είναι μια περιφερειακή μονάδα του nRF24LE1 το οποίο μπορεί να λειτουργεί ακόμα και σε συνθήκες χαμηλής κατανάλωσης και να ξυπνά το μικροελεγκτή από αυτές τις συνθήκες, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τον χρόνο αυτονομίας των Endevices και θα το αναλύσουμε παρακάτω.

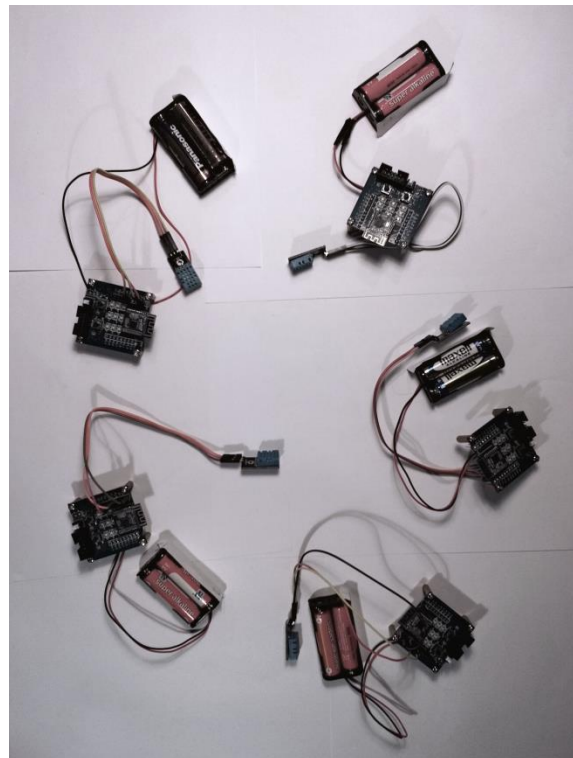
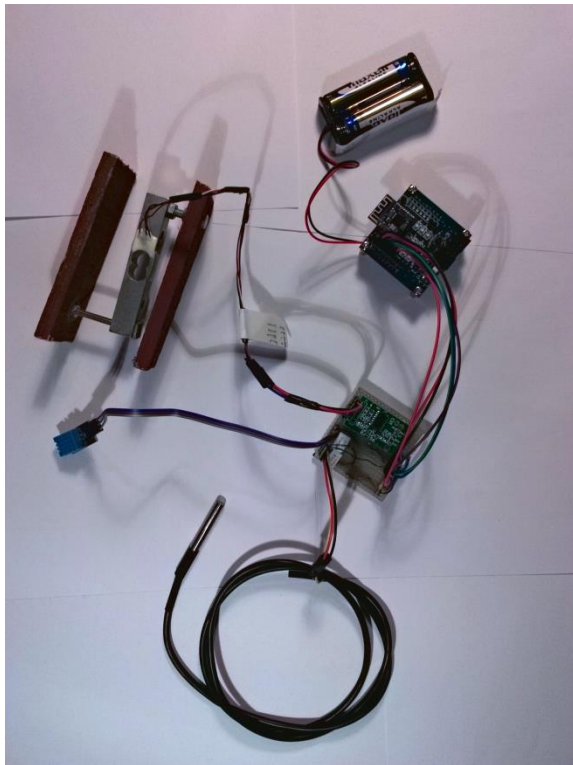


Εικόνα 46: Η ακολουθία εκτέλεσης των tasks στον Gateway

6.4 Endevices

Τα Endevices αποτελούν το άλλο βασικό κύκλωμα του δικτύου. Έχουν την δυνατότητα συλλογής των τιμών από τους αισθητήρες, που έχουν συνδεδεμένους και της επικοινωνίας με το Gateway, χωρίς να μπορούν να διαδώσουν την πληροφορία αλλού στο δίκτυο. Η ULP σχεδίαση σε hardware αλλά και σε software επίπεδο τους δίνει το πλεονέκτημα της πολύ χαμηλής κατανάλωσης, χαρακτηριστικό υψίστης σημασίας για κόμβους ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Επίσης, το πλήθος των περιφερειακών που μας προσφέρει το nRF24LE1 δίνει την δυνατότητα υλοποίησης πανίσχυρων και πολύ οικονομικών κόμβων, προσαρμοσμένους στις εκάστοτε απαιτήσεις σχεδίασης.

Από την παρακάτω εικόνα (εικόνα 47) παρατηρούμε ότι το Endevise αριστερά, έχει τις ίδιες απαιτήσεις hardware με αυτές του κυκλώματος στο κεφάλαιο 5, δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε τον μικροελεγκτή nRF24LE1. Το μόνο που αλλάζει είναι οι απαιτήσεις σε λογισμικό, καθώς πλέον δεν μιλάμε για ένα μικροελεγκτή που επικοινωνεί με κάποιους αισθητήρες και εμφανίζει τις μετρήσεις σε ένα τερματικό, αλλά για ένα κομμάτι ενός δικτύου αισθητήρων. Συνεπώς, επιβάλλεται η λειτουργία του ενσωματωμένου RF πομποδέκτη για την επικοινωνία με το Gateway.



Εικόνα 47: Αριστερά το Endevise με όλους τους αισθητήρες, δεξιά το σύνολο των Endevices με τους αισθητήρες υγρασίας DHT11

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε τη λειτουργία των Endevices παρουσιάζοντας την αλληλουχία των tasks, που θα μας βοηθήσει να κατανοήσουμε τον τρόπο υλοποίησης του ασύρματου δικτύου και την επικοινωνία με το Gateway.

6.4.1 Ανάλυση λειτουργίας Endevices

Η ανάλυση που θα παρουσιάσουμε παρακάτω, μας προσφέρει μια πρώτη προσέγγιση στη λειτουργία και τον τρόπο υλοποίησης των Endevices. Η λειτουργία των Endevices είναι πανομοιότυπη, οπότε η παρακάτω ανάλυση που αφορά το ένα Endevice ισχύει για όλα τα Endevices. Η μόνη διαφορά στα προγράμματα των ακραίων κόμβων είναι ότι ο κάθε ένας έχει μοναδικό ID που τον κάνει μοναδικό στο δίκτυο. Το πρόγραμμα μπορεί να χωριστεί σε τέσσερα βασικά κομμάτια, στο πρώτο στάδιο το Endevice κάνει κάποιες αρχικοποιήσεις για την σωστή λειτουργία των περιφερειακών και αισθητήρων. Στο δεύτερο βασικό στάδιο, το Endevice κάνει «JOIN» με το Gateway. Το τρίτο είναι μια περίοδος αναμονής μέχρι την αποστολή των μετρήσεων και το τέταρτο είναι για την σωστή μετάβαση από τις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του Endevice. Όλη ανάλυση παρουσιάζεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 48) και αποτελεί τον κύριο κορμό του προγράμματος των Endevices.

Αρχικά, το Endevice εκτελεί το task «init» το οποίο είναι υπεύθυνο για την αρχικοποίηση των περιφερειακών και παραμέτρων που θα χρησιμοποιήσει, στην συνέχεια. Ρυθμίζει την πηγή χρονισμού του επεξεργαστή σε συγκεκριμένη συχνότητα. Αρχικοποιεί τις εισόδους εξόδους που θα συνδεθούν οι αισθητήρες και τη σειριακή θύρα. Ορίζει, δηλαδή την ταχύτητα επικοινωνίας, το μέγεθος του πακέτου. Τέλος, ρυθμίζει το ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC) στο χρόνο που θα δίνει διακοπή και εκτελεί την συνάρτηση εκχώρησης ID στην συσκευή. Μια πάρα πολύ σημαντική λειτουργία για την αποφυγή συγκρούσεων αλλά και σωστή λειτουργία του δικτύου. Ουσιαστικά, η συνάρτηση εκχώρησης ID δίνει στο κάθε Endevice μοναδικό όνομα στο οποίο θα ακούει, τέτοια ονόματα είναι N100, N101, Nxxx και είναι η μόνη παράμετρος η οποία διαφοροποιείται μεταξύ των Endevices. Αφού ολοκληρώσει τις παραπάνω διαδικασίες, το task «init» δημιουργεί το task «join» και διαγράφεται.

Το task «join» είναι υπεύθυνο για την πρώτη επικοινωνία με το Gateway. Στο συγκεκριμένο task το Endevice, ενημερώνει τον Gateway για την ύπαρξή του. Αυτό γίνεται με την αποστολή του μοναδικού ID από το κάθε Endevice, στην ερώτηση από τον Gateway για το αν υπάρχει το συγκεκριμένο ID. Είναι η πρώτη χειραψία μεταξύ των δύο συσκευών και με αυτό τον τρόπο ο Gateway δίνει το δικαίωμα σε μία συσκευή να μπει στο δίκτυο. Αφού ολοκληρώσει τις παραπάνω διαδικασίες, το task «join» δημιουργεί το task «alpha loop» και διαγράφεται.

Το task «alpha loop» είναι πολύ σημαντικό task καθώς μέσα σε αυτό ενσωματώνονται αρκετές λειτουργίες του Endevice όπως η λειτουργία χρονισμού, ανάγνωσης τιμών αισθητήρων, αποστολής μηνυμάτων στο Gateway και η λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης. Αρχικά, στο task «alpha loop» ενεργοποιείται ο RF πομποδέκτης σε κατάσταση λήψης και το Endevice αναμένει μήνυμα «START» από το Gateway για να εκκινήσει το RTC του. Το μήνυμα εκκίνησης είναι πολύ σημαντικό για τον σωστό χρονισμό μεταξύ Endevices-Gateway. Με αυτό τον τρόπο, μπορούμε να έχουμε ένα κοινό σημείο εκκίνησης μεταξύ όλων των Endevices, καθώς όλα τα Endevices λαμβάνοντας το μήνυμα «START» εκκινούν τα ρολόγια τους. Αμέσως μετά την εκκίνηση του ρολογιού, το Endevice μπαίνει σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης για 4 λεπτά. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται «register retention mode timers on» και τα Endevices καταναλώνουν 3.2 μ A ενώ το μόνο περιφερειακό το οποίο είναι σε λειτουργία είναι το RTC. Μέσα σε αυτό το χρόνο των τεσσάρων λεπτών, το Endevice ξυπνά κάθε ένα λεπτό και κάνει ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων και ξανακοιμάται κάτι το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για μελλοντική ανάπτυξη. Με την πάροδο του χρόνου των τεσσάρων λεπτών, το Endevice ξυπνά

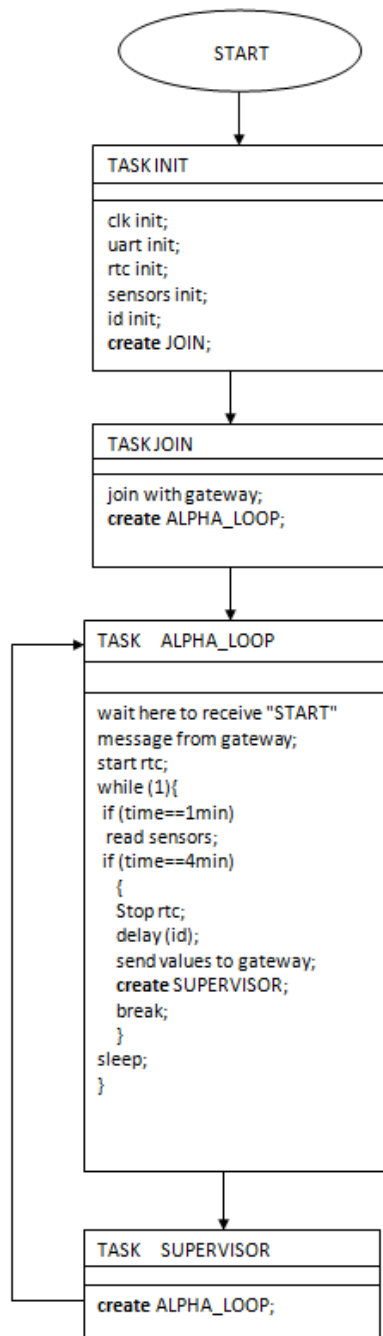
και σταματά το ρολόι του. Αφού έχει προηγηθεί ο συγχρονισμός του δικτύου, όλα τα Endevices ξυπνούν ταυτόχρονα και είναι έτοιμα για την επικοινωνία με το Gateway. Για την αποφυγή συγκρούσεων το κάθε Endevise, πριν στείλει στο Gateway το πακέτο με τις μετρήσεις, εκτελεί ένα βρόχο καθυστέρησης. Ο χρόνος εκτέλεσης του βρόχου έχει άμεση σχέση με το μοναδικό ID του κάθε Endevise και έτσι εξασφαλίζουμε την αποφυγή «air collisions» στο δίκτυο. Με την αποστολή των μετρήσεων στο Gateway το Endevise ολοκληρώνει το task «alpha loop» δημιουργεί το task «supervisor» και διαγράφεται.

Το task «supervisor» είναι υπεύθυνο για την επαναλαμβανόμενη μετάβαση στο task «alpha loop».

Όπως παρατηρούμε, το Endevise εφόσον περάσει την φάση του «join» με το Gateway παραμένει στο task «alpha loop» για τον υπόλοιπο χρόνο εκτέλεσης του. Επομένως, η συνολική κατανάλωση ενέργειας επηρεάζεται άμεσα από τις καταστάσεις λειτουργίας και τον χρόνο παραμονής σε αυτές. Μέσα στο συγκεκριμένο task μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις

- Active mode (κατανάλωση 2.5mA)
- Register retention mode (κατανάλωση 3.2μA)
- RF transceiver in TX mode (POUT = 0 dBm) (κατανάλωση 11.1 mA)
- RF transceiver in RX mode (2 Mbps) (κατανάλωση 13.3 mA)

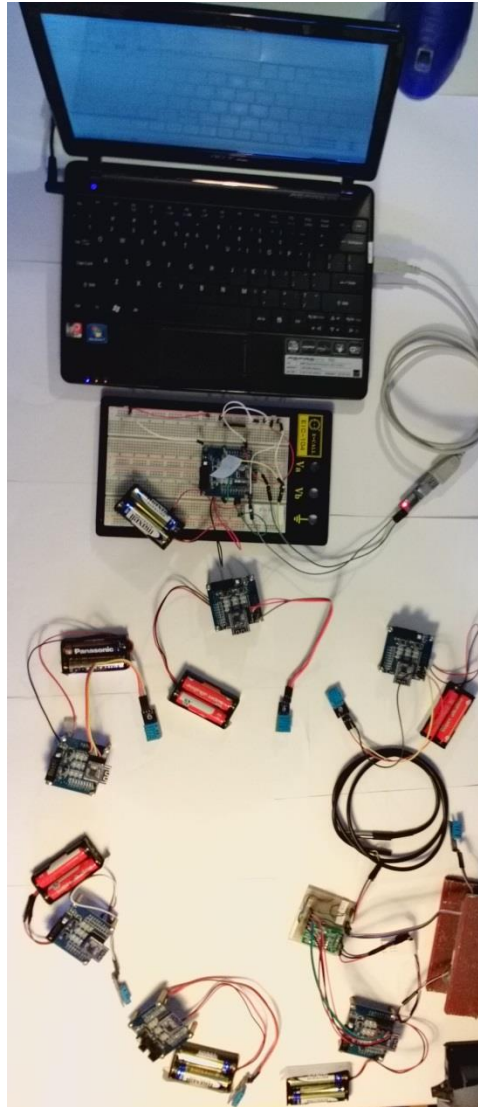
Ο χρόνος παραμονής στη κάθε κατάσταση έχει σαν αποτέλεσμα στη συνολική κατανάλωση στο Endevise χαρακτηριστικό υψίστης σημασίας για κόμβους ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Επομένως, μειώνοντας τον χρόνο παραμονής σε ενεργοβόρες καταστάσεις και με την αξιοποίηση των Wakeup source(s) των διάφορων Sleep modes μπορούμε να πετύχουμε πολύ χαμηλές καταναλώσεις άρα και μεγαλύτερους χρόνους ζωής των ασύρματων δικτύων.



Εικόνα 48: Η ακολουθία εκτέλεσης των tasks στο Endevic

6.5 Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε γρήγορη λειτουργία και η εμφάνιση των δεδομένων που λαμβάνει ο Gateway στο τερματικό.

Στην περίπτωση αυτή ο Gateway συνδέεται απευθείας με το τερματικό μας και εμφανίζει τα δεδομένα που λαμβάνει από τους κόμβους του ασύρματου δικτύου στο τερματικό (εικόνα 49). Ο Gateway, όπως και τα Endevices, έχουν ρυθμιστεί ώστε να κάνουν έναν κύκλο λειτουργίας πολύ μικρότερο από αυτόν της τελικής εφαρμογής. Έτσι, είναι πιο εποπτική η παρατήρηση του δικτύου. Ας σημειωθεί ότι, έχουν ενσωματωθεί εντολές εκτύπωσης στα διάφορα στάδια, που περιγράψαμε παραπάνω, ώστε να γίνει πιο σαφής η λειτουργία και οι διάφορες φάσεις εκτέλεσης. Παρακάτω θα περιγράψουμε την λειτουργία του δικτύου σε συνδυασμό με διάφορα μηνύματα που στέλνει ο Gateway στο τερματικό. Στο φάκελο «BN-V1.0 rapid execution with terminal» βρίσκονται όλα τα αρχεία που θα αναφερθούμε στο παρών κεφάλαιο.



Εικόνα 49: Το WSN με το Gateway συνδεδεμένο στο τερματικό

Αρχικά, ο Gateway εκτυπώνει ένα αρχικό μήνυμα στο terminal για τον έλεγχο της σωστής επικοινωνίας μεταξύ UART και τερματικού. Μετά, αρχίζει την αναζήτηση σε ένα πλήθος ταυτοτήτων (ID) στις οποίες είναι προγραμματισμένα τα Endevices, και όπως έχουμε προαναφέρει κάθε Endevice έχει μοναδικό ID. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 50) ο Gateway βρήκε εντός δικτύου τα Endevices με ID N100, N103, N104, N105, N106 και N107. Ο κώδικας που εκτελείται από το Gateway είναι το task «find nrf devices» ο βρόχος do {} while (id<116); στη main.c ενώ ο κώδικας που εκτελείτε από τα Endevices είναι το task «join» στη main.c

```
GATEWAY SAY HELLO
I START NDEVICE FINDING
Endevice N100 joined
Endevice N101 out of range or closed
Endevice N102 out of range or closed
Endevice N103 joined
Endevice N104 joined
Endevice N105 joined
Endevice N106 joined
Endevice N107 joined
Endevice N108 out of range or closed
Endevice N109 out of range or closed
Endevice N110 out of range or closed
Endevice N111 out of range or closed
Endevice N112 out of range or closed
Endevice N113 out of range or closed
Endevice N114 out of range or closed
Endevice N115 out of range or closed
```

Εικόνα 50: Ο Gateway κάνει «join» με τα Endevices

Στην συνέχεια, και αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αναζήτησης των Endevices ο Gateway στέλνει μήνυμα εκκίνησης «START» προς όλες τις συσκευές του δικτύου (εικόνα 51) για να εκκινήσουν τα ρολόγια τους. Ο κώδικας που εκτελείται από το Gateway είναι το task «find nrf devices» η εντολή «RF_GATEWAYTxString» στη main.c ενώ ο κώδικας που εκτελείται από τα Endevices είναι το task «alpha loop» η εντολή «RF_NRFrxString» στη main.c

```
Endevice N109 out of range or closed
Endevice N110 out of range or closed
Endevice N111 out of range or closed
Endevice N112 out of range or closed
Endevice N113 out of range or closed
Endevice N114 out of range or closed
Endevice N115 out of range or closed
I SEND BROADCAST MESSAGE "START" FOR STARTING ALL RTC'S
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
```

Εικόνα 51: Ο Gateway στέλνει μήνυμα εκκίνησης στα Endevices

Εικόνα 6.13: Ο Gateway στέλνει μήνυμα εκκίνησης στα Endevices

Αμέσως μετά την αποστολή του μηνύματος «START» προς όλες τις συσκευές του δικτύου, ο Gateway ενεργοποιεί το ρολόι του «hal_rtc_start(true);» και ξεκινά την παράλληλη εκτέλεση των task «receive send sms or exceptional incident» και «supervisor». Στο task «receive send sms or exceptional incident» ο Gateway αναμένει για 4 λεπτά μέχρι να ενεργοποιηθούν όλα τα Endevices. Η ενημέρωση για την πάροδο των 4^{ων} λεπτών (εικόνα 52) γίνεται από το task «supervisor» με την χρήση της κοινής μεταβλητής «seed». Έχει, σαν αποτέλεσμα την ακύρωση της συνθήκης if(seed==0) του task «receive send sms or exceptional incident» και τον τερματισμό εκτέλεσης του.

```
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDLNT
I WAIT RECEVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
SUPERVISOR RECEIVE RTC SIGNAL 4 MINS ELAPSED
```

Εικόνα 52: Ο Gateway ενημερώνεται για την πάροδο των 4ων λεπτών

Τα Endevices με την λήψη του μηνύματος «START» ενεργοποιούν τα ρολόγια τους, ο κώδικας που εκτελείται από τα Endevices είναι το task «alpha loop» η εντολή hal_rtc_start(true);.Μετά εκτελείτε ο βρόχος while (1) στο task «alpha loop». Τα Endevices παραμένουν σε αυτό το βρόχο για 4 λεπτά σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ξυπνώντας περιοδικά ανά 1 λεπτό για την ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων. Μετά την πάροδο των τεσσάρων λεπτών η συνθήκη if(rfsend_time == 244) στο task «alpha loop» γίνεται αληθής και τα Endevices είναι έτοιμα να στείλουν στον Gateway τις μετρήσεις τους. Η αποστολή των δεδομένων στο Gateway γίνεται αφού πρώτα όλα τα Endevices εκτελέσουν τον βρόχο for{} στο task «alpha loop», που ουσιαστικά είναι ένας έλεγχος προτεραιότητας αποστολής. Με την εκτέλεση του βρόχου τα Endevices στέλνουν τα δεδομένα τους στο Gateway (εικόνα 53).

```
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
I WAIT RECEIVE SEND SMS OR EXEPTIONAL INCIDENT
SUPERVISOR RECEIVE RTC SIGNAL 4 MINS ELAPSED
I START RECEIVING MEASUREMENTS UNTIL SUPERVISOR STOPS ME (2mins)
gateway receive from id 0
ID=N100 h=29% t=21C w=0.073kg
gateway receive from id 3
ID=N103 h=60% t=21C w=12.00kg
gateway receive from id 4
ID=N104 h=26% t=39C w=12.00kg
gateway receive from id 5
ID=N105 h=29% t=39C w=12.00kg
gateway receive from id 6
ID=N106 h=27% t=39C w=12.00kg
gateway receive from id 7
ID=N107 h=26% t=39C w=12.00kg
SUPERVISOR RECEIVE RTC SIGNAL 6 MINS ELAPSED
I START NDEVICE FINDING
```

Εικόνα 53: Ο Gateway λαμβάνει και εκτυπώνει στο τερματικό τις μετρήσεις

Ο Gateway μετά την λήξη των 4^{ωv} λεπτών περνά στην εκτέλεση του task « receive measurements » στο οποίο λαμβάνει τις μετρήσεις από το WSN (εικόνα 54). Ο κώδικας που εκτελείται από το Gateway για την λήψη των τιμών από τα Endevices είναι το task «receive measurements» η εντολή «RF_GATEWAYRxString». Το συγκεκριμένο task εκτελείται για 2 λεπτά, μέσα σε αυτό το χρόνο ο Gateway αναμένει από όλα τα Endevices να του αποστείλουν τιμές. Με την ολοκλήρωση των δύο λεπτών ο Gateway ενημερώνεται από το task «supervisor» και ξαναρχίζει την εκτέλεση του task «find nrf devices» από την αρχή (εικόνα 6.16).

```
ID=N105 h=29% t=39C w=12.00kg
gateway receive from id 6
ID=N106 h=27% t=39C w=12.00kg
gateway receive from id 7
ID=N107 h=27% t=39C w=12.00kg
SUPERVISOR RECEIVE RTC SIGNAL 6 MINS ELAPSED
I START NDEVICE FINDING
Endevic N101 out of range or closed
Endevic N102 out of range or closed
Endevic N108 out of range or closed
Endevic N109 out of range or closed
Endevic N110 out of range or closed
Endevic N111 out of range or closed
Endevic N112 out of range or closed
```

Εικόνα 54: Ο Gateway ξαναρχίζει την διαδικασία αναζήτησης των Endevices

Τα Endevices μετά την αποστολή των τιμών από τους αισθητήρες σταματούν τα ρολόγια τους. Μεταβαίνουν στο task «alpha loop» και αναμένουν μήνυμα «START» από το Gateway.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

7

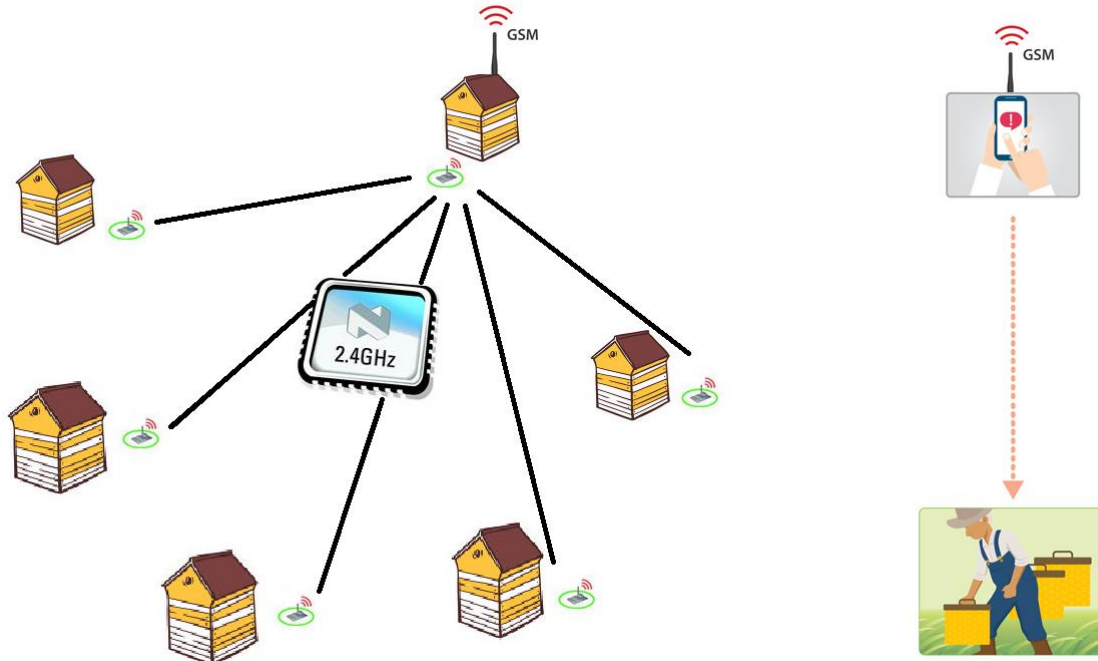
Η εφαρμογή

7.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή αυτή προσανατολίζεται στην κάλυψη διαφόρων αναγκών ενός μελισσοκόμου. Η ανάγκη για απομακρυσμένη παρακολούθηση του μικροκλίματος των κυψελών, κατά τη διάρκεια όλου του έτους, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το μελισσοκόμο που ασκεί νομαδική μελισσοκομία. Τον χειμώνα, που παρατηρούμε χαμηλές θερμοκρασίες τα αποθέματα τροφής που βρίσκονται μέσα σε μία κυψέλη μειώνονται. Το μέλισσι μετά από μια παρατεταμένη τέτοια περίοδο κινδυνεύει να καταρρεύσει. Εκεί είναι που πρέπει να επέμβει ο μελισσοκόμος και με κατάλληλους χειρισμούς να βοηθήσει στην συντήρηση της κυψέλης. Με την χρήση, λοιπόν, αισθητήρων και της ασύρματης τεχνολογίας μπορούμε να ενημερώνουμε το μελισσοκόμο ανά πάσα στιγμή για την κατάσταση των μελισσών.

Το ασύρματου δικτύου αισθητήρων, που παρουσιάσαμε παραπάνω, ταιριάζει απόλυτα στις ανάγκες απομακρυσμένης παρακολούθησης κυψελών, καθώς ενσωματώνει όλους τους απαραίτητους αισθητήρες για την σωστή παρακολούθηση μιας κυψέλης. Η χρήση της ασύρματης τεχνολογίας των WSN στα 2.4GHz βοηθά στην παρακολούθηση όλου του μελισσοκομείου με πολύ μικρό κόστος. Με εμβέλεια επικοινωνίας 60m μπορεί να καλύψει μια περιοχή 3600m². Ακόμα, με τη σύνδεση ενός GSM πομποδέκτη στο Gateway προσφέρεται η δυνατότητα στο μελισσοκόμο της απομακρυσμένης παρακολούθησης του μελισσοκομείου του από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου (εικόνα 55).

Ο μελισσοκόμος είναι πλέον σίγουρος για την πορεία και την κατάσταση των μελισσοσμηνών του. Μπορεί να προγραμματίζει τις εργασίες του χωρίς να χάνει χρόνο αλλά και χρήμα σε άσκοπες μετακινήσεις. Τέλος, με την άμεση ενημέρωσή του στις περιόδους μελιτεκρίσεων μπορεί να παίρνει σημαντικές αποφάσεις για την αύξηση των κερδών του.



Εικόνα 55: Το δίκτυο κυψελών, ο μελισσοκόμος ενημερώνεται με SMS

7.2 Οι αισθητήρες στην παρακολούθηση μιας κυψέλης

Τοποθετώντας τους αισθητήρες στην κυψέλη μπορούμε να πάρουμε άμεσα πληροφορίες για το βάρος την υγρασία και την θερμοκρασία που επικρατούν. Οι πληροφορίες αυτές, σε συνδυασμό με την εποχή και την εμπειρία του μελισσοκόμου, δίνουν μια πλήρη εικόνα της κατάστασης των μελισσοσμηνών. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά την χρησιμότητα του κάθε αισθητήρα καθώς και τον τρόπο τοποθέτησής του στην κυψέλη.

7.2.1 Αισθητήρας θερμοκρασίας

Τοποθετώντας έναν αισθητήρα θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη (εικόνα 56) μπορούμε να έχουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Τον χειμώνα, που δεν έχουμε γόνο, παρατηρούμε την θερμοκρασία που διατηρεί το μελίσι και πόσο μπορεί να δυσκολεύεται σε σχέση με πιθανές ακραίες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Όταν, στην αρχή της άνοιξης ή και νωρίτερα, δούμε την θερμοκρασία να ανεβαίνει ξαφνικά στους 35 βαθμούς, σημαίνει ότι το μελίσι άρχισε να έχει γόνο. Πράγμα που δείχνει, ότι ξεκινάει η περίοδος ανάπτυξης του μελισσιού και η κατανάλωση τροφής μεγαλώνει πολύ. Οπότε, ο μελισσοκόμος, μόλις ο καιρός το επιτρέψει, πρέπει να ελέγξει τα αποθέματα τροφής σε όλα τα μελίσια, γιατί αυτή η περίοδος είναι η πιο επικίνδυνη για να καταρρεύσει ένα μελίσι από έλλειψη τροφής. Αυτό συμβαίνει, διότι η κατανάλωση τροφής είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα που μπορεί να συλλέξει και τα αποθέματα τροφής του χειμώνα μπορεί να έχουν τελειώσει.

Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται να έχουν τα μελίσινα τροφή για να ξεκινήσουν άμεσα την ανάπτυξη τους, χωρίς κίνδυνο λιμοκτονίας και αποφεύγοντας τους περιττούς ελέγχους αυτήν την περίοδο.

7.2.2 Αισθητήρας υγρασίας

Η υγρασία μέσα στην κυψέλη αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους κινδύνους των μελισσιών και η καταγραφή της είναι σημαντική (εικόνα 56). Παρά το γεγονός πως η υγρασία είναι απαραίτητη για το μελίσι και συγκεκριμένα για το γόνο του, όταν η τιμή της ξεπεράσει κάποια όρια, τότε αρχίζει και γίνεται επικίνδυνη για τις μέλισσες. Πράγματι, αυτή η ίδια η υγρασία δεν μπορεί να βλάψει ιδιαίτερα τις μέλισσες, εκτός και αν συνδυαστεί με χαμηλές θερμοκρασίες. Τότε μπορεί να ευνοήσει πολύ την ανάπτυξη κάποιων θανάσιμων εχθρών τους – εννοούμε κυρίως τη νέα Νοζεμίαση.

Μέσα στο χώρο της κυψέλης, όπου η θερμοκρασία συνήθως είναι μεγαλύτερη από αυτή του περιβάλλοντος, δημιουργούνται συνθήκες υψηλής σχετικής υγρασίας. Το φαινόμενο αυτό «επιβαρύνεται» ακόμα περισσότερο και από δυο ακόμα παράγοντες. Ο ένας έχει να κάνει με την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από τις μέλισσες, ιδιαίτερα όταν στρεσάρονται, αλλά και από την αποβολή υγρασίας από το «υδρόφιλο» μέλι, όταν υπάρχουν ασφράγιστα κελιά.



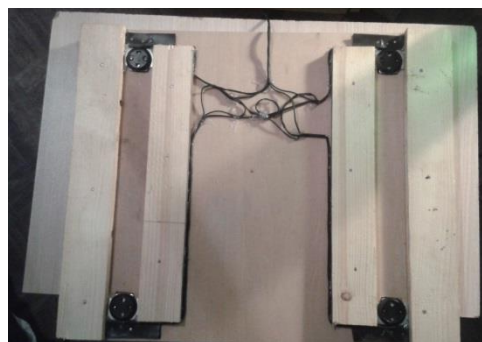
Εικόνα 56: Οι αισθητήρες υγρασίας και θερμοκρασίας μέσα στην κυψέλη.

7.2.3 Αισθητήρας βάρους

Το πιο σημαντικό για να έχουμε ένα υγιές μελίσι είναι να έχει επάρκεια τροφής ανά πάσα στιγμή. Ακόμη και ένα πολύ μικρό διάστημα να μείνει χωρίς τροφή γίνεται ευάλωτο σε ασθένειες με άμεσες αλλά και μακροπρόθεσμες συνέπειες. Οι μέλισσες είναι γενικά πιο βραχύβιες όταν μεγαλώνουν σε μελίσινα που πάσχουν από υποσιτισμό. Επίσης, διάφορα νοσήματα μπορεί να είναι αίτια του υποσιτισμού. Από την άλλη πλευρά, η χορήγηση τροφής

είναι ένα από τα βασικά έξοδα του μελισσοκόμου, για αυτό δεν πρέπει να γίνονται υπερβολές και άσκοπα ταΐσματα. Με τον αισθητήρα βάρους (εικόνα 57) παρατηρούμε τις αυξομειώσεις του βάρους μιας κυψέλης σε όλη την διάρκεια του χρόνου αποκομίζοντας σημαντικά συμπεράσματα. Επίσης, οι βασικές ανθοφορίες είναι σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα το έλατο, στην Ελλάδα δίνει μέλι από τέλος Μαΐου (ανάλογα με την χρονιά) και κρατάει ένα μήνα, όμως αν αρχίσουν βροχές (κάτι που είναι πολύ πιθανό αυτήν την περίοδο) μπορεί ακόμα και να το ξεπλύνει τελείως από μέλι. Άρα καταλαβαίνουμε ότι όλα τα μέρη με έλατο δεν δίνουν την ίδια ποσότητα μελιού. Οπότε, αν το μέρος που έχουν μεταφερθεί τα μελίτσια δεν αποδίδει καλά, ο μελισσοκόμος πρέπει να πάρει ένα ακόμη μεγαλύτερο ρίσκο, να ξανακάνει μεταφορά για να πάει σε άλλο μέρος που δείχνει να αποδίδει την συγκεκριμένη χρονιά (π.χ. να τα πάρει από το Μαίναλο να τα πάει στον Ταΰγετο) μήπως προλάβει την μελιτοέκκριση στην μέση [21]. Οι συχνές μεταφορές φυσικά επιβαρύνουν και στρεσάρουν τα μελίτσια και επίσης μεγαλώνουν το κόστος, τον κόπο και αλλά και το άγχος του μελισσοκόμου. Από την άλλη πλευρά όμως το να μείνουν παραγωγικά μελίτσια σε ένα μέρος χωρίς τροφή μπορεί να έχει καταστρεπτικές συνέπειες, οπότε αναγκαστικά χρειάζεται να ταΐστουν με μεγάλη ποσότητα τροφής, μέχρι οι συνθήκες να επιτρέψουν ξανά στα μελίτσια να μαζέψουν μέλι.

Τέλος, με τον αισθητήρα βάρους μπορεί να εντοπίσει πότε η ανθοφορία φτάνει στο τέλος της και να αποσύρει τα μελίτσια εγκαίρως πριν αρχίσουν οι λεηλασίες ανάμεσα σε μελίτσια από γύρω μελισσοκομία που βρίσκονται μαζεμένα στην περιοχή την συγκεκριμένη περίοδο. Επίσης, πιθανόν ο μελισσοκόμος να προλάβει να μεταφέρει τα μελίτσια σε μια άλλη περιοχή που γνωρίζει ότι δίνει μέλι, έχοντας εγκαταστήσει και εκεί ένα μελίτσιο <δείκτη>.

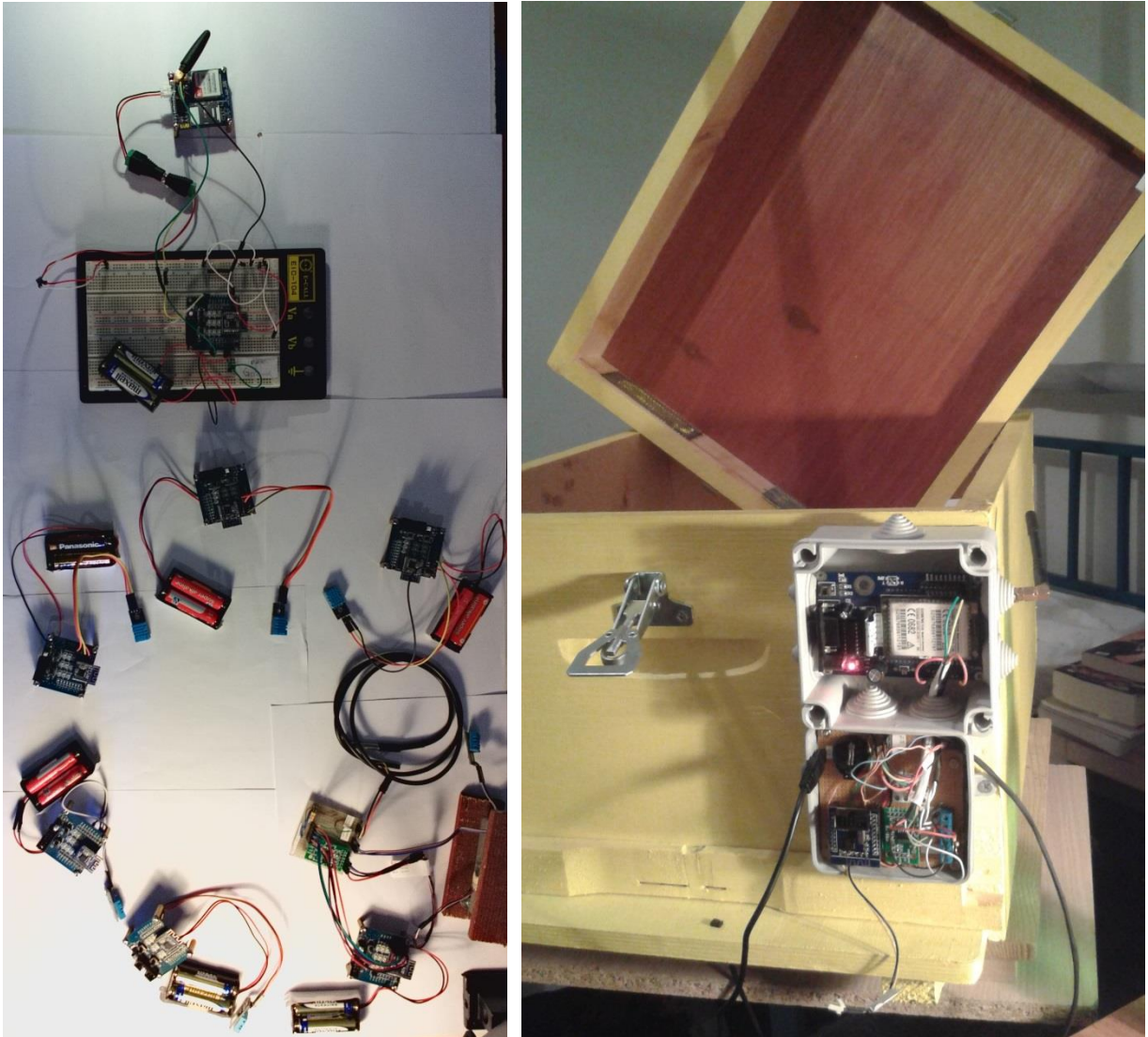


Εικόνα 57: Ο αισθητήρας βάρους στη βάση της κυψέλης.

7.3 Το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων σε κανονική λειτουργία και η εμφάνιση των δεδομένων των κυψελών με SMS στο χρήστη.

Στην περίπτωση αυτή ο Gateway συνδέεται με το SIM 900 (εικόνα 58). Ο κώδικας που εκτελούν τα Endevices και ο Gateway για την λειτουργία του δικτύου είναι ακριβώς όπως τον περιγράψαμε στην προηγούμενη ενότητα. Αυτό που αλλάζει είναι ο τρόπος με τον οποίο ο

χρήστη ενημερώνεται για την κατάσταση του δικτύου. Σε αντίθεση με την προηγούμενη παράγραφο, εδώ πλέον δεν υπάρχει το τερματικό και στην θέση του έχει συνδεθεί ένα GSM module που αναλαμβάνει την επικοινωνία με τον χρήστη.

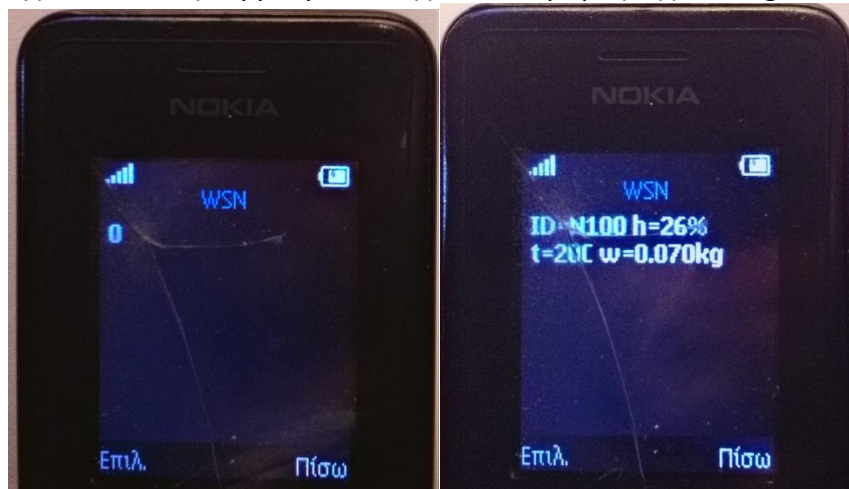


Εικόνα 58: Το WSN με το Gateway συνδεδεμένο στο GSM πομποδέκτη αριστερά, ο Gateway δεξιά

7.3.1 Η επικοινωνία με το δίκτυο

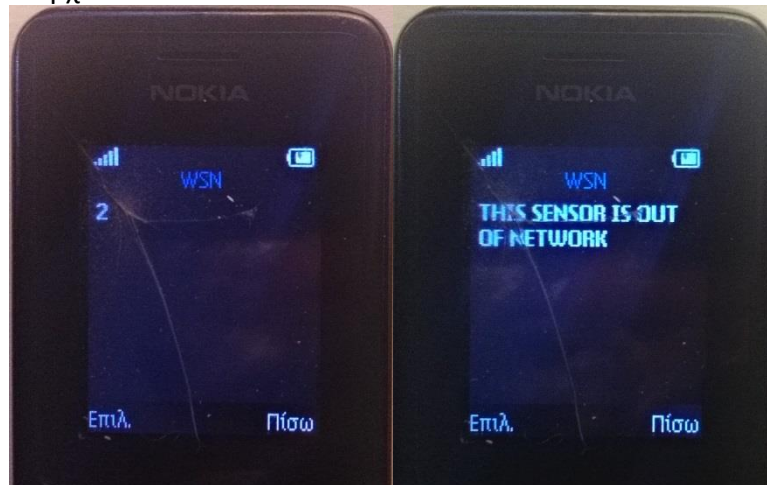
Όπως προαναφέραμε ο μόνος τρόπος επικοινωνίας με το δίκτυο για την ενημέρωση του χρήστη γίνεται μέσω γραπτών μηνυμάτων SMS. Παρακάτω θα δούμε τον τρόπο επικοινωνίας και τις απαντήσεις από το δίκτυο.

Στέλνοντας το μήνυμα «0» στον Gateway του WSN ενημερωνόμαστε για τη κυψέλη 0 (εικόνα 59) η υγρασία της είναι 26% η θερμοκρασία της 20°C το βάρος της 0.07 kg.



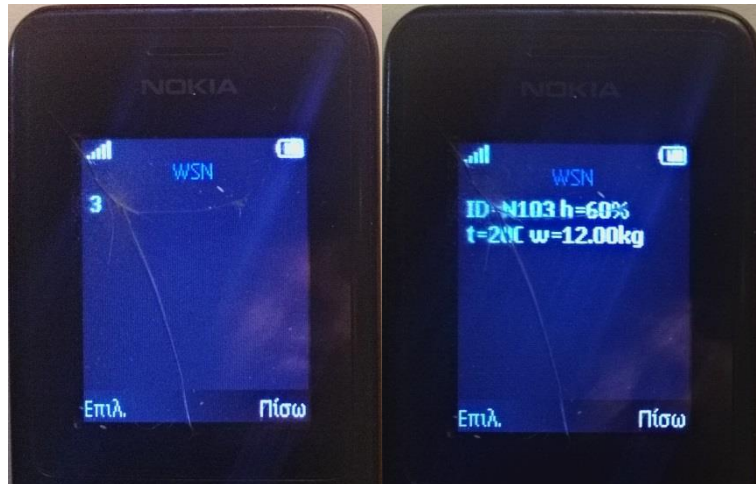
Εικόνα 59: Ερώτηση για την κυψέλη 0 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 0

Στέλνοντας το μήνυμα «2» στον Gateway του WSN ενημερωνόμαστε για τη κυψέλη 2 (εικόνα 60), η κυψέλη 2 δεν υπάρχει στο δίκτυο.



Εικόνα 60: Ερώτηση για την κυψέλη 2 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 2

Στέλνοντας το μήνυμα «3» στον Gateway του WSN ενημερωνόμαστε για τη κυψέλη 3 (εικόνα 61) η υγρασία της είναι 60% η θερμοκρασία της 20°C το βάρος της 12.00 kg.



Εικόνα 61: Ερώτηση για την κυψέλη 3 αριστερά, δεξιά απάντηση από το Gateway για την κυψέλη 3

7.3.2 Υπολογισμός συνολικού κόστους υλικού

Το κόστος του Gateway

$$\text{Gateway cost} = \text{nRF24LE1} + \text{SIM900} = 3,58\text{€} + 26,8\text{€} = 30,38\text{€}$$

Το κόστος του Endevicce

$$\text{Endevicce cost} = \text{nRF24LE1} + \text{DHT11} + \text{DS18B20} + \text{HX711} + 4 * \text{LOAD_CELL} = 3,58\text{€} + 1,18\text{€} + 1,43\text{€} + 1,75\text{€} + 1.45\text{€} * 4 = 13,74\text{€}$$

Συνολικό κόστος για ασύρματο δίκτυο 10 κυψελών = Gateway cost + 10*Endevicce cost = 170€
Κόστος ανά κυψέλη=17€/κυψέλη

Συνολικό κόστος για ασύρματο δίκτυο 100 κυψελών = Gateway cost + 100*Endevicce cost = 1400€
Κόστος ανά κυψέλη=14€/κυψέλη

Βιβλιογραφία

1. C. S. a. C. J. C. Shen, «Sensor Information Networking Architecture and Applications», IEEE Pers. Commun., pp. 52-59, August 2001.
2. M. S. a. A. A. G. Hoblos, «Optimal Desing of Fault Tolerant Sensor Networks», IEEE Int'l. Conf. Cont. Apps., Anchorage, AK, p. 467–472, Sept 2000.
3. B. e. al., «Scalable Coordination for Wireless Sensor Networks: Self-Configuring Localization Systems», Ambleside, U.K., July 2001.
4. R. G. a. D. E. C. Intanagonwiwat, «Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks», Proc. ACM MobiCom, pp. 56-67, 2000.
5. M. Ilyas, I. Mahgoub, «Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems», CRC Press, 2004.
6. J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, «Wireless sensor network survey», Computer Networks, 2008.
7. Διπλωματική Εργασία Πλιάγκου Αντωνίου: Μελέτη Συστήματος Ευφυών Μετρήσεων σε Αστικές και Ημιαστικές Περιοχές, Ε.Μ.Π, 2015.
8. I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramanian, E. Cayirci, «Wireless Sensor Networks: A survey», Computer Networks, 2002.
9. J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, «Wireless sensor network survey», Computer Networks, 2008
10. I. F. Akyildiz, M. C. Vuran, «*Wireless Sensor Networks*, Wiley», 2010.
11. W. Dargie, Ch. Poellabauer, «*Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice*», Wiley, 2010.
12. P. Zhang, C. Sadler, S. Lyon, M. Martonosi, «Hardware design experiences in ZebraNet», Proc. ACM SenSys'04, Baltimore, USA, November 2004.
13. J. Burrell, T. Brooke, and R. Beckwith, «Vineyard Computing: sensor networks in agricultural production», IEEE Pervasive Computing, Available: http://people.ischool.berkeley.edu/~jenna/burrell_pervasive_computing.pdf [Τελευταία Πρόσβαση: 12/2/2016]
14. R. G. Lee, K. C. Chen, S. S. Chiang, C. C. Lai, H. S. Liu, M. S. Wei, «A Backup Routing with Wireless Sensor Network for Bridge Monitoring System», 4th Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'06), Computer Networks, 2006.
15. T. V. Ngoc, «Medical Applications of Wireless Networks: A survey paper written under guidance of Prof. Raj Jain», Available: <http://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/medical.pdf> [Τελευταία Πρόσβαση: 15/3/2016]
16. «NORDIC SEMICONDUCTOR»
Available: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24LE1>
[Τελευταία Πρόσβαση: 15/3/2016]
17. «DS18B20»
Available: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
[Τελευταία Πρόσβαση: 12/3/2016]

18. «DHT11»
Available: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>
[Τελευταία Πρόσβαση: 15/3/2016]
19. «HX711»
Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/ForceFlex/hx711_english.pdf
[Τελευταία Πρόσβαση: 15/3/2016]
20. Διπλωματική Εργασία Παναγιώτη Δημητρίου: «Αναγνώριση ακουστικών συμβάντων ανθρώπου κατά τη διάρκεια του ύπνου με μικροϋπολογιστικό σύστημα χαμηλού κόστους», Παν/μιο Πατρών, 2011.
21. Διπλωματική Εργασία Κόκκορης Αποστόλης: ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΜΕΛΙΣΣΟΚΟΜΕΙΟΥ ΑΠΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗ, Ε.Μ.Π, 2015.