



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριστείδης Ι. Οικονόμου

Επιβλέποντες: Νικόλαος Ουζούνογλου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Άγγελος Αμδίτης, Ερευνητής Α΄ ΕΠΙΣΕΥ

Αθήνα, Μάρτιος 2016



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριστείδης Ι. Οικονόμου

Επιβλέποντες: Νικόλαος Ουζούνογλου, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Άγγελος Αμδίτης, Ερευνητής Α΄ ΕΠΙΣΕΥ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή:

.....
Ν. Ουζούνογλου
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....
Α. Αμδίτης
Ερευνητής Α΄ ΕΠΙΣΕΥ

.....
Δ.Θ. Κακλαμάνη
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

.....

Αριστείδης Ι. Οικονόμου

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

Copyright © Αριστείδης Ι. Οικονόμου, 2016
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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

Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί ο αριθμός των εκδηλούμενων δασικών πυρκαγιών με αποτέλεσμα τη συνεχή συρρίκνωση των περιοχών πρασίνου αλλά, σε αρκετές περιπτώσεις, και την απώλεια ανθρωπίνων ζώων. Σύμμαχο στην έγκαιρη ανίχνευση και πρόληψη του συγκεκριμένου προβλήματος αποτελούν τα συστήματα παρακολούθησης δασικών περιοχών. Με την παρούσα εργασία επιχειρείται η δημιουργία και κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος παρακολούθησης με τη χρήση ενσωματωμένων συστημάτων και ασυρμάτων δικτύων αισθητήρων.

Αρχικά, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο αξιοποιείται στην υλοποίηση του εν λόγω συστήματος. Ξεκινώντας, περιγράφεται η γενική αρχιτεκτονική την οποία πρέπει να ακολουθεί ένα σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών και έπειτα παρουσιάζονται ως παραδείγματα υπάρχοντα συστήματα. Ακολούθως, αναφέρονται ορισμένα βασικά στοιχεία θεωρίας αναφορικά με τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, πρωτόκολλα επικοινωνίας, ενσωματωμένα συστήματα και μικροελεγκτές, τα οποία αξιοποιούνται στο προς υλοποίηση σύστημα παρακολούθησης.

Στη συνέχεια, βάσει ενός απλού σεναρίου, γίνεται η σχεδίαση και η παρουσίαση της λειτουργίας του συστήματος, το οποίο αποτελείται από τρία στάδια: τους αισθητήριους κόμβους, τον εξυπηρετητή μαζί με τον συντονιστή και, τέλος, τους πελάτες. Η επιλογή και η κατασκευή του υλικού (hardware) του συστήματος έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις συνθήκες που επικρατούν σε μία δασική περιοχή. Για την επικοινωνία μεταξύ των τριών σταδίων αναπτύχθηκαν ειδικά λογισμικά, όπου βασικό ρόλο διαδραματίζει αυτό του εξυπηρετητή. Εν γένει, η επικοινωνία βασίζεται στην αποστολή και λήψη συμβολοσειρών από τον εξυπηρετητή προς και από τους κόμβους ή τους πελάτες. Συγκεκριμένα, οι αισθητήριοι κόμβοι μπορούν, αφού συνδεθούν στον εξυπηρετητή, είτε να μένουν αδρανείς ή να λαμβάνουν και να του αποστέλλουν μετρήσεις για κρίσιμα μεγέθη που σχετίζονται με πυρκαγιές.

Ο εξυπηρετητής από την πλευρά του μπορεί να τις αποθηκεύει και να τις καθιστά διαθέσιμες στους συνδεδεμένους σε αυτόν πελάτες. Η αποστολή των συμβολοσειρών αυτών, αλλά και η γενικότερη επίβλεψη και διαχείριση του συστήματος πραγματοποιείται μέσω δύο διεπαφών-εφαρμογών, αυτή του εξυπηρετητή και αυτή του πελάτη.

Τέλος, εκτελείται μία δοκιμή λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιώντας τις διεπαφές σε εργαστηριακό περιβάλλον. Αρχικά, εξετάζεται η επικοινωνία μεταξύ των δύο αισθητήριων κόμβων και του εξυπηρετητή και έπειτα, ελέγχεται σε τοπικό επίπεδο η επικοινωνία μεταξύ αυτού και ενός πελάτη. Σε αμφότερες τις περιπτώσεις διαπιστώνεται ότι η επικοινωνία διεξάγεται ομαλά και κατά τον αναμενόμενο τρόπο. Ωστόσο, η απλότητα του συστήματος και οι περιορισμοί που περιέχει καθιστούν απαραίτητη την περαιτέρω μελέτη και ανάπτυξή του. Συμπερασματικά, κρίνεται πως το υλοποιούμενο σύστημα αποτελεί μια αξιόπιστη βάση ανάπτυξης πολυπλοκότερων συστημάτων παρακολούθησης δασικών περιοχών.

Λέξεις κλειδιά: ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, συστήματα παρακολούθησης, δασικές περιοχές, ενσωματωμένα συστήματα, ZigBee, XBee, Arduino, μικροελεγκτής, Atmel, ATmega328P, σειριακή επικοινωνία

Abstract

Over the last years the number of forest fire outbreaks has increased resulting to the continuous shrinkage of greenfield sites as well as to loss of human lives in many cases. The monitoring systems for forest areas are a valuable ally in the early detection and prevention of this problem. The aim of the present thesis is the configuration and implementation of such a monitoring system using embedded systems and wireless sensor networks.

Firstly, the theoretical background, which was used for the system's implementation, was described. After the description of the general architecture, which a forest fire detection system must follow, some examples of existing systems were given. Furthermore, some basic theory features were mentioned regarding wireless sensor networks, communication protocols, embedded systems and microcontrollers, which features were used in the implementation of the monitoring system.

Moreover, a monitoring system was developed based on a simple scenario, which consists of three stages: the sensory nodes, the server with the coordinator and, finally, the clients. The system's hardware was selected and constructed taking into consideration the prevailing in a forest area conditions. Special software packages were developed for the communication between the three stages, where the server's program plays the most important role. In general, the communication is based on sending and receiving strings from the server to and from the nodes or the clients. Specifically, once connected to the server the sensory nodes can either remain inactive or receive and send measurements referring to critical sizes associated with forest fires. The server on its part can store and make these measurements available to the clients connected to it. The sending of the strings as well as the general supervision and management of the system is carried out by means of two interfaces-applications, the server's and the client's interface.

Finally, a test of the system's operation was carried out using the above mentioned interfaces in a laboratory environment. At first, the communication between the two sensory nodes and the server was tested, followed by the communication between the server and the client, which takes place at a local level. In both cases the results showed that the communication is performed normally and as expected. However, due to the system's simplicity as well as due to the restrictions that it contains further study is necessary so as to verify its efficiency under real conditions. To conclude, the implemented system is a reliable basis for developing more complex forest monitoring systems.

Keywords: wireless sensor networks (WSN), monitoring systems, forest areas, embedded systems, ZigBee, XBee, Arduino, microcontroller, Atmel, ATmega328P, serial communication (UART)

Ευχαριστίες

Στο πλαίσιο της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους, όσοι με οποιονδήποτε τρόπο βοήθησαν στην περάτωσή της. Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους επιβλέποντες, καθηγητή κ. Νικόλαο Ουζούνογλου και ερευνητή κ. Άγγελο Αμδίτη για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της εν λόγω εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ερευνητές του εργαστηρίου Μικροκυμάτων και Οπτικών Ινών του κ. Ουζούνογλου και ιδίως τον κ. Κωνσταντίνο Λούπο, ο οποίος ήταν πάντα πρόθυμος να με βοηθήσει στην εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας και στην πρόσβαση στον εξοπλισμό του έργου "RECONASS". Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον κ. Απόστολο Ψαρρό καθηγητή στο εργαστήριο Ηλεκτρονικών Αισθητήρων για την παραχώρηση χώρου με σκοπό τη διεξαγωγή πειραματικών ελέγχων και μετρήσεων στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας. Τέλος, μεγάλη ευγνωμοσύνη οφείλω στους γονείς μου Ιωάννη και Πηνελόπη, οι οποίοι αποτέλεσαν στήριγμα κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και στις ευρύτερες επιλογές στη ζωή μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract.....	5
1ο Κεφάλαιο: Συστήματα Ανίχνευσης Δασικών Πυρκαγιών	13
1.1 Εισαγωγή.....	13
1.2 Γενική αρχιτεκτονική συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών.....	15
1.3 Παραδείγματα συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών.....	16
1.3.1 Καναδικό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών (CWFIS).....	16
1.3.2 Ευρωπαϊκό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών (EFFIS).....	17
1.3.3 Ολοκληρωμένο σύστημα για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών με τη χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων, Wasp mote.....	19
2ο Κεφάλαιο: Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)	21
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Αρχιτεκτονικές WSN	22
2.3 Βασικές τοπολογίες WSN	25
2.4 Πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας WSN.....	29
2.4.1 Ασύρματο πρότυπο ZigBee.....	30
2.4.2 Ασύρματο πρότυπο WirelessHART.....	35
2.4.3 Ασύρματο πρότυπο 6LoWPAN	38
2.4.4 Σύνοψη ασύρματων προτύπων επικοινωνίας.....	40
2.5 Η υποδομή ενός τυπικού αισθητήριου κόμβου.....	42
3ο Κεφάλαιο: Στοιχεία Θεωρίας	47
3.1 Εισαγωγή.....	47

3.2 Μικροελεγκτής και μικροεπεξεργαστής	47
3.3 Αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες.....	49
3.4 Σειριακή επικοινωνία	51
3.5 Ενσωματωμένα συστήματα	56
3.6 Μετρούμενες φυσικές παράμετροι	57
3.7 XBee modules	60
3.7.1 Εισαγωγή.....	60
3.7.2 Πρωτόκολλα σειριακής διασύνδεσης.....	61
3.7.3 Σειριακή επικοινωνία	63
4ο Κεφάλαιο: Σχεδίαση Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών	67
4.1 Εισαγωγή.....	67
4.2 Δομή του συστήματος.....	68
4.3 Πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας δικτύου αισθητήρων	70
4.4 Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος.....	70
4.5 Αρχιτεκτονική και τοπολογία ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN).....	74
5ο Κεφάλαιο: Δομή του Υλικού του Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών.....	77
5.1 Εισαγωγή.....	77
5.2 Επιλογή επεξεργαστικής μονάδας	77
5.3 Επιλογή αισθητήρων.....	80
5.4 Επιλογή πομποδέκτη.....	84
5.5 Κύκλωμα τροφοδότησης του αισθητήριου κόμβου	87
5.6 Το σχηματικό του αισθητήριου κόμβου	90

5.7 Κατασκευή του αισθητήριου κόμβου.....	93
5.8 Επιλογή υλικού για τον σταθμό συλλογής δεδομένων.....	98
6ο Κεφάλαιο: Υλοποίηση του Λογισμικού του Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών	101
6.1 Εισαγωγή.....	101
6.2 Διαδικασία ρύθμισης των XBee συσκευών	101
6.2.1 Εισαγωγή.....	101
6.2.2 Ρύθμιση συντονιστή (ZigBee Coordinator).....	102
6.2.3 Ρύθμιση πομποδέκτη αισθητήριων κόμβων (ZigBee Router)	104
6.3 Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE.....	106
6.4 Διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή.....	109
6.5 Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή.....	113
6.6 Λογισμικό εξυπηρετητή (server)	121
6.7 Λογισμικό πελάτη (client)	130
7ο Κεφάλαιο: Δοκιμές, Βελτιώσεις και Συμπεράσματα	139
7.1 Εισαγωγή.....	139
7.2 Δοκιμή του συστήματος	140
7.2.1 Το πλάνο της δοκιμής.....	140
7.2.2 Επικοινωνία αισθητήριων κόμβων - εξυπηρετητή.....	140
7.2.3 Επικοινωνία εξυπηρετητή - πελάτη	143
7.2.4 Ενεργειακός κύκλος ζωής των αισθητήριων κόμβων.....	147
7.3 Βελτιώσεις συστήματος	149
7.4 Συμπέρασμα.....	153
Βιβλιογραφία.....	155

1ο Κεφάλαιο: Συστήματα Ανίχνευσης Δασικών Πυρκαγιών

1.1 Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές προκαλούνται κυρίως από τον άνθρωπο, όμως η ύπαρξη φαινομένων όπως οι κεραυνοί καθώς και η υπερθέρμανση του πλανήτη συμβάλλουν στην εύκολη εκκίνησή τους [1]. Η πρόληψη των πυρκαγιών είναι πολύ περίπλοκη και απαιτεί πολλή δουλειά, η οποία περιλαμβάνει μια μακροχρόνια διαδικασία αλλαγής στη συνείδηση του πληθυσμού και μια βραχυπρόθεσμη προστασία των δασών μέσω της τακτικής τους συντήρησης. Παρά το γεγονός ότι ο αριθμός των πυρκαγιών κατά την τελευταία δεκαετία έχει αυξηθεί στην Ευρώπη, η καμένη έκταση δεν έχει επεκταθεί σημαντικά λόγω των βελτιωμένων μεθόδων πυρόσβεσης.

Για το σκοπό αυτό, παγκοσμίως υπάρχουν διάφορα συστήματα και πιλοτικά έργα, τα οποία έχουν δημιουργηθεί για την έγκαιρη πρόληψη και την ανίχνευση των δασικών πυρκαγιών [1]. Υπάρχουν πολλές επιστημονικές μελέτες που έχουν ασχοληθεί με αυτό το θέμα από διαφορετικές οπτικές γωνίες. Το σημείο εκκίνησης της πλειοψηφίας των ερευνών είναι ο μεγάλος αριθμός των δασικών πυρκαγιών κατά τα τελευταία χρόνια και η ανάγκη προληπτικής δράσης για το ταχύτερο, ευκολότερο και απλούστερο εντοπισμό τους χωρίς να υπάρξουν σοβαρές συνέπειες για τον πληθυσμό και τα δάση. Παράλληλα, οι συγκεκριμένες έρευνες και εφαρμογές ανοίγουν νέους ορίζοντες στην έρευνα, την εφαρμογή και την εξέλιξη του τομέα των δικτύων αισθητήρων.

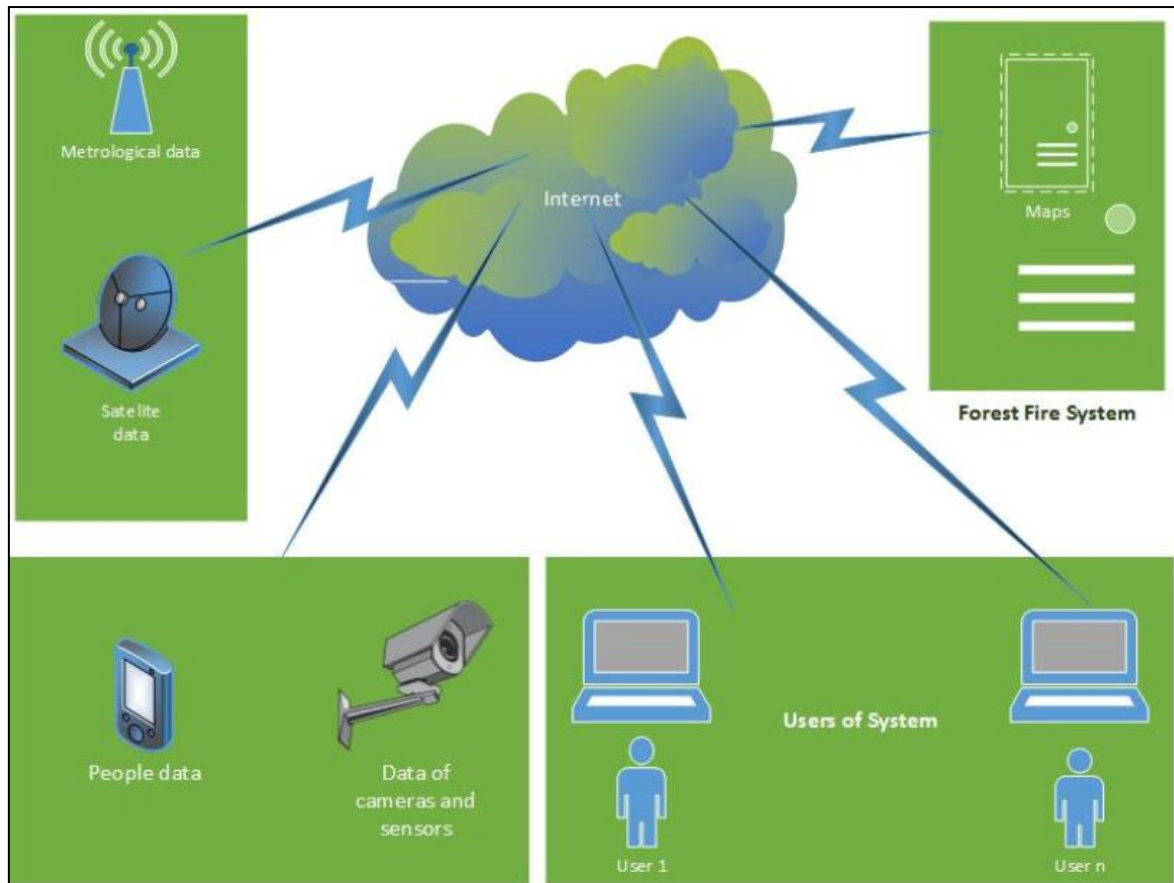
Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης δασικών περιοχών βασισμένο σε ενσωματωμένα συστήματα

(embedded systems). Για την δημιουργία και κατασκευή του συγκεκριμένου συστήματος συνδυάζονται στοιχεία από τους τομείς επικοινωνιών, ηλεκτρονικής, συστημάτων πληροφορικής και μετάδοσης πληροφοριών. Το σύστημα συνδέεται με κατάλληλους αισθητήρες που μετρούν κρίσιμες παραμέτρους δασικών περιοχών σχετικές με πυρκαγιές ή άλλες κρίσιμες καταστάσεις. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ασύρματη επικοινωνία των αισθητήρων με ένα απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης. Το σύστημα συνδέεται ασύρματα με τον απομακρυσμένο σταθμό και δύναται να αποστέλλει τις πληροφορίες από τους αισθητήρες (κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας) προς απεικόνιση σε δικτυακή εφαρμογή.

Η διπλωματική εργασία διαρθρώνεται σε επτά κεφάλαια. Στο πρώτο, παρόν κεφάλαιο γίνεται μία εισαγωγή και περιγραφή υπάρχοντων συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία θεωρίας που αφορούν στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, συγκεκριμένα οι αρχιτεκτονικές τους, οι τοπολογίες τους, τα πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας τους και, τέλος, η υποδομή ενός τυπικού αισθητήριου κόμβου. Στη συνέχεια, στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένες βασικές έννοιες (μικροελεγκτές, XBee, σειριακή επικοινωνία UART κ.ά.) που αξιοποιούνται στο προς υλοποίηση σύστημα παρακολούθησης δασικών περιοχών. Έπειτα, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η σχεδίαση και η παρουσίαση της λειτουργίας του συστήματος. Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο, αντίστοιχα, περιγράφονται το υλικό (hardware) και το λογισμικό (software) μέρος του υλοποιούμενου συστήματος (κόμβοι, σταθμός συλλογής δεδομένων και σύστημα πελατών). Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο εκτελείται μία δοκιμή λειτουργίας του συστήματος και διατυπώνονται πιθανές μελλοντικές βελτιώσεις και συμπεράσματα.

1.2 Γενική αρχιτεκτονική συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών

Κίνητρα για την ανάλυση των συστημάτων έγκαιρης ανίχνευσης και πρόληψης δασικών πυρκαγιών είναι οι θετικές πτυχές που προσφέρει η ύπαρξη και εγκατάστασή τους σε ένα κράτος [1]. Η ύπαρξη ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις. Κατ' αρχάς, πρέπει να υπάρχει μια σωστή κάλυψη από αυτοματοποιημένους σταθμούς μέτρησης, οι οποίοι είναι κατάλληλοι για τη λήψη μετεωρολογικών δεδομένων στην περιοχή επιτήρησης. Στη συνέχεια, απαιτείται η πρόσβαση των δορυφόρων στα δεδομένα αυτά για τον υπολογισμό των καθορισμένων παραμέτρων. Επιπλέον, η ύπαρξη ενός συστήματος ανίχνευσης στην περιοχή είναι απαραίτητη, το οποίο θα αποτελείται από ένα συνδυασμένο σύνολο καμερών, αισθητήρων και θα επεκτείνεται για παράδειγμα μέσω των έξυπνων τηλεφώνων των πολιτών. Όλα αυτά τα δεδομένα πραγματικού χρόνου θα πρέπει να συγχωνεύονται μαζί με τα στατικά δεδομένα (χάρτες βλάστησης, δημογραφικοί χάρτες, κ.λπ.) σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να παρέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία που απαιτούνται για την έγκαιρη προειδοποίηση και την πρόληψη των δασικών πυρκαγιών. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική ενός τέτοιου συστήματος ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών, περιέχοντας την υπολογιστική μονάδα του εξυπηρετητή, τους παρόχους δεδομένων και τους χρήστες.



Εικόνα 1.1. Γενική αρχιτεκτονική συστήματος ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών [1].

1.3 Παραδείγματα συστημάτων ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών

1.3.1 Καναδικό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών (CWFIS)

Το Καναδικό σύστημα αποτελεί ένα από τα πιο προηγμένα συστήματα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών στον κόσμο, το οποίο είναι βασισμένο σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS) [1]. Το συγκεκριμένο σύστημα συλλέγει σε καθημερινή βάση όλα τα καιρικά στοιχεία από την Υπηρεσία Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος (AES), τον δορυφόρο ANIK-D από το βόρειο μέρος του Καναδά, τη Μετεωρολογική Υπηρεσία Hydro και άλλους 250 σταθμούς που ανήκουν στην επικράτεια του Καναδά. Στη συνέχεια δημιουργεί ημερήσιους χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς, παρακολουθώντας έτσι την ετήσια συμπεριφορά των πυρκαγιών

εντοπίζοντας παράλληλα και τα σημεία τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη επικινδυνότητα ("Hot spots") κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου, η οποία θεωρείται ότι διαρκεί από το Μάιο έως το Σεπτέμβριο. Οι παραγόμενοι χάρτες είναι ανοικτοί στο κοινό καθώς και σε οργανισμούς που δραστηριοποιούνται ερευνητικά στον τομέα των πυρκαγιών.

Το σύστημα αυτό, το οποίο είναι βασισμένο σε υπολογιστικά συστήματα, χρησιμοποιείται από το Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System ως βάση για τη μοντελοποίηση και την προβολή της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς στα δάση του Καναδά [1]. Ο υπολογισμός των συνιστωσών βασίζεται σε διαδοχικές καθημερινές παρακολουθήσεις της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και των 24-ώρων πληροφοριών βροχόπτωσης. Οι προβλέψεις γίνονται έξι ημέρες νωρίτερα και τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι οι χάρτες, οι εθνικές εκθέσεις της κατάστασης για το σύνολο της επικράτειας και η ιστορική ανάλυση.

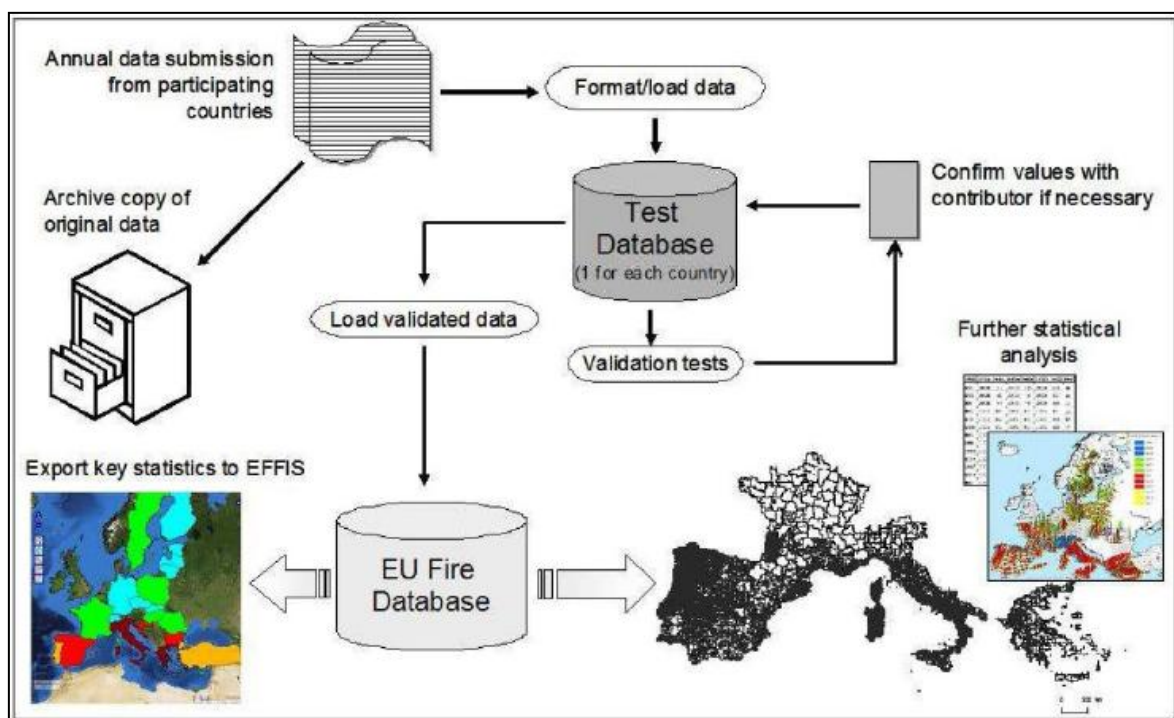
1.3.2 Ευρωπαϊκό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών (EFFIS)

Το Ευρωπαϊκό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών ορίστηκε από το Κοινό Κέντρο Ερευνών (JRC) και τη Γενική Διεύθυνση Περιβάλλοντος (ENV), ως ο βασικός πάροχος πληροφοριών για τις δασικές πυρκαγιές στην Ευρώπη το 1998 [1]. Το σύστημα αυτό κάνει αξιολόγηση σε δύο φάσεις, πριν και μετά την πυρκαγιά. Λαμβάνει υπόψη την πρόληψη, την ετοιμότητα, την αντιμετώπιση των πυρκαγιών, τις συνέπειές τους και παράγει ημερήσιους μετεωρολογικούς χάρτες κινδύνου πυρκαγιάς και πρόγνωση έξι ημερών. Οι δορυφορικές εικόνες ενημερώνονται κάθε επτά ημέρες ενώ οι χάρτες με τα σημεία τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς ενημερώνονται καθημερινά.

Το EFFIS παρουσιάζει αρκετά προϊόντα στο χάρτη του, όπως την ετήσια πρόβλεψη πυρκαγιών, τα σημεία τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιάς και τα καμένα εδάφη [1]. Η πρόβλεψη κινδύνου πυρκαγιάς γίνεται με την ίδια μεθοδολογία που εφαρμόζεται στο Καναδικό σύστημα

χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραμέτρους και υπολογισμούς. Οι σταθερές της επικράτειας ελέγχονται και ρυθμίζονται με βάση τα Ευρωπαϊκά δεδομένα καθώς υπάρχουν διαφορές μεταξύ των παραμέτρων της Ευρώπης και του Καναδά. Τα δεδομένα προέρχονται από δύο δορυφόρους, τους MODIS και SEVIRI. Οι πληροφορίες για τις καμένες περιοχές λαμβάνονται από όλα τα Ευρωπαϊκά κράτη, τα οποία έχουν την υποχρέωση να υποβάλουν ετήσιες εκθέσεις για το ζήτημα των πυρκαγιών.

Από τεχνικής άποψης, το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί ως ένα αρθρωτό γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα και αποτελείται από διαδικτυακές εφαρμογές, ένα τμήμα επεξεργασίας δεδομένων και μια χωρική βάση δεδομένων που συλλέγει και εμφανίζει πληροφορίες για τις δασικές πυρκαγιές σε πανευρωπαϊκή κλίμακα [1]. Ο κύριος σκοπός του EFFIS είναι να προβλέπει τον ημερήσιο κίνδυνο πυρκαγιάς και να συγκεντρώνει στοιχεία για τις καμένες περιοχές μέσω της χρήσης εργαλείων λογισμικού καθώς και μετεωρολογικών και οπτικών δεδομένων τα οποία συλλέγονται από τους δορυφόρους σε καθημερινή βάση.



Εικόνα 1.2. Ευρωπαϊκό σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών (EFFIS) [1].

1.3.3 Ολοκληρωμένο σύστημα για την ανίχνευση δασικών πυρκαγιών με τη χρήση ασύρματων δικτύων αισθητήρων, Waspnote

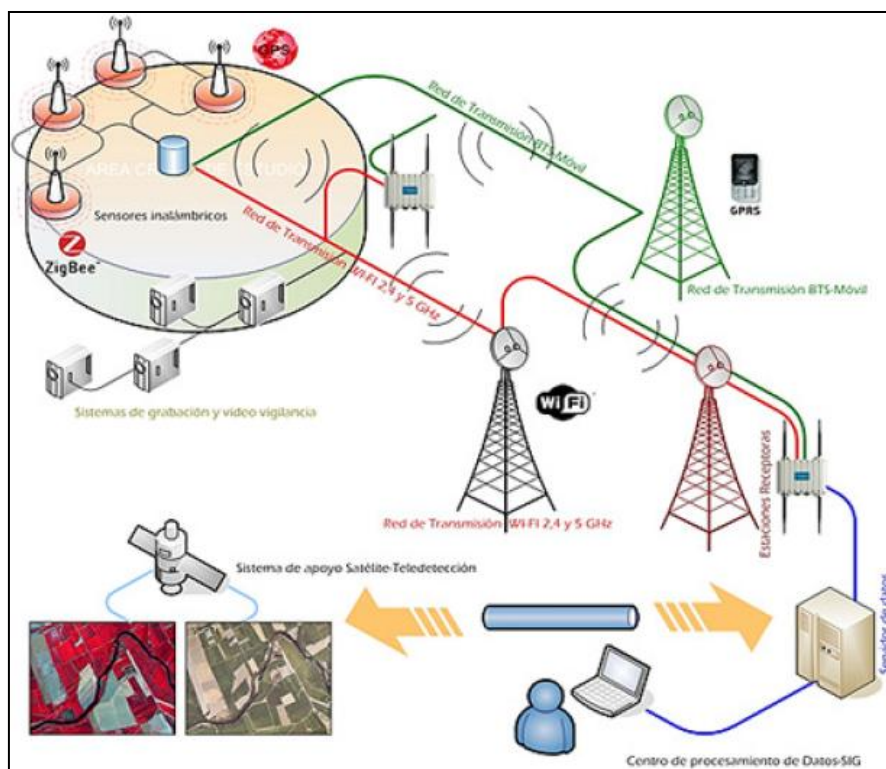
Η εταιρεία DIMAP-FactorLink, με την επωνυμία «SISVIA Vigilancia y Seguimiento Ambiental» στο πλαίσιο των έργων στον τομέα της προστασίας του περιβάλλοντος, ανέπτυξε ένα ολοκληρωμένο σύστημα για την ανίχνευση των δασικών πυρκαγιών που χρησιμοποιεί τα προϊόντα της εταιρίας Libelium το οποίο κάλυψε μια περιοχή 210 εκταρίων στην περιοχή της Βόρειας Ισπανίας [1]. Στόχος ήταν η παροχή πληροφοριών σε διαφορετικούς οργανισμούς για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών υποδομών και την παροχή συναγερμού για την έγκαιρη προειδοποίηση των διαφόρων κινδύνων, όπως οι δασικές πυρκαγιές. Το σύστημα αυτό αποτελείται από ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων, ένα δίκτυο επικοινωνίας και ένα κέντρο υποδοχής.

Οι Waspnote συσκευές εγκαθίστανται σε στρατηγικά σημεία, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.3, λαμβάνοντας μετρήσεις κάθε 5 λεπτά [1]. Οι τέσσερις μετρούμενες παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Εάν η τιμή μιας από τις μετρούμενες παραμέτρους υπερβεί το ρυθμισμένο όριο, τότε το σύστημα αντιδρά με την αποστολή συναγερμού στις πυροσβεστικές υπηρεσίες, γνωρίζοντας αμέσως την ακριβή θέση της φωτιάς, με αξιόπιστη ακρίβεια, διότι μέσα σε κάθε Waspnote συσκευή μπορεί να ενσωματωθεί μια συσκευή GPS που καθορίζει την ακριβή θέση και την ώρα της λαμβανόμενης πληροφορίας.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του Waspnote είναι η χαμηλής ισχύος κατανάλωσή του διότι πέφτει σε χειμερία νάρκη το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, προκειμένου να εξοικονομήσει ενέργεια [1]. Το Waspnote ξυπνά σε ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα (προγραμματισμένο από το χρήστη), διαβάζει από τους αισθητήρες, δημιουργεί μια ασύρματη επικοινωνία και αποστέλλει τα

δεδομένα. Κάθε συσκευή τροφοδοτείται από μπαταρίες και ηλιακά πάνελ τα οποία κάνουν το σύστημα να είναι εντελώς ανεξάρτητο.

Δύο συσκευές Meshlium εγκαθίστανται για να βοηθούν στη μετάδοση δεδομένων, να συλλέγουν πληροφορίες και να τις στέλνουν μέσω WiFi [1]. Το Meshlium και ο Multiprotocol δρομολογητής είναι ικανοί να συνδέονται με WSN (802.15.4 / ZigBee), WiFi (2.4GHz ή 5GHz σε υψηλή ή χαμηλή ενέργεια), GPRS (Quadband, επικοινωνία Bluetooth μέσω κινητών τηλεφώνων ή συσκευών PDA), GPS και Ethernet. Η συσκευή Meshlium είναι ένας αναλυτής που διαιρεί όλα τα δεδομένα σε μικρά πακέτα ή μεταβλητές τα οποία φυλάσσονται στον εξυπηρετητή σε μια βάση δεδομένων MySQL. Τα δεδομένα μπορούν να υποβάλλονται σε επεξεργασία αφού έχει προηγηθεί η αποθήκευσή τους στη βάση δεδομένων. Η SISVIA παράλληλα έχει δημιουργήσει και έναν πίνακα ελέγχου με σκοπό την παρουσίαση των συλλεχθέντων πληροφοριών μέσω ενός γραφικού περιβάλλοντος. Η λύση αυτή έχει ενσωματωθεί στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, με σκοπό την εμφάνιση των πληροφοριών σε 2D ή 3D χάρτες.



Εικόνα 1.3. Ολοκληρωμένο σύστημα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών, Wasp mote [1].

2ο Κεφάλαιο: Ασύρματα Δίκτυα

Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)

2.1 Εισαγωγή

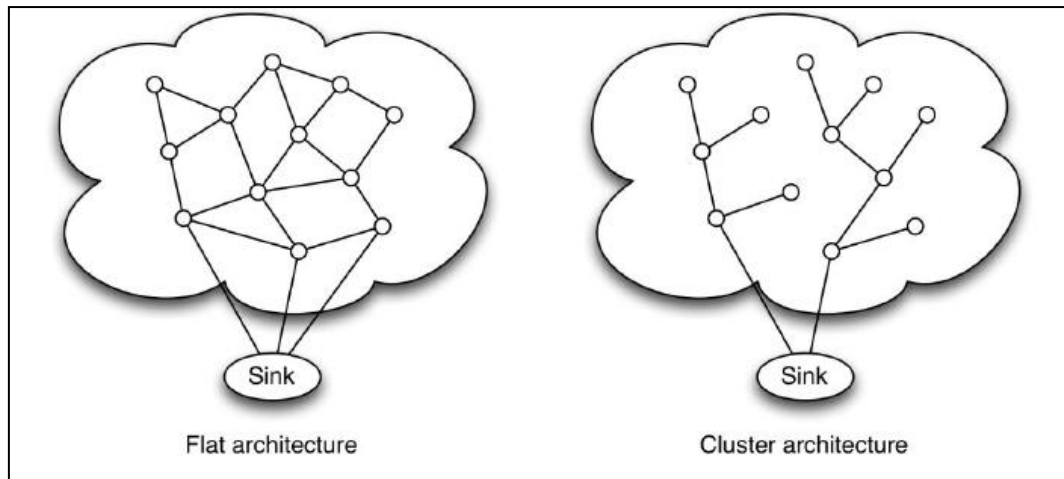
Τα τελευταία χρόνια ένα ιδιαίτερα σημαντικό αντικείμενο έρευνας στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών είναι τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (Wireless Sensor Networks) [2]. Ένα τέτοιο δίκτυο αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών όπως η θερμοκρασία, ο ήχος, η ατμοσφαιρική πίεση κ.λπ. και την αποστολή αυτών σε ένα απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης ή καταβόθρα (sink) για περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση.

Μια σημαντική εφαρμογή των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η εγκατάστασή τους σε δασικές περιοχές με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση πυρκαγιών, προλαμβάνοντας έτσι τη γρήγορη εξάπλωσή τους και λειτουργώντας επικουρικά στο έργο της πυροσβεστικής υπηρεσίας.

Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται εκτενέστερα αρχιτεκτονικές και τοπολογίες με τις οποίες μπορεί να αναπτυχθεί ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Έπειτα, γίνεται αναφορά στα πρωτόκολλα ασύρματης επικοινωνίας των επιμέρους μονάδων ενός δικτύου με τον απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης και, τέλος, παρουσιάζεται η βασική δομή των κόμβων ενός δικτύου.

2.2 Αρχιτεκτονικές WSN

Ένα WSN συνήθως αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό κόμβων οι οποίοι κατανέμονται σε μια περιοχή ενδιαφέροντος [3]. Σε ένα τυπικό σενάριο, η περιοχή ενδιαφέροντος είναι συχνά ένα δυσμενές περιβάλλον και οι κόμβοι είναι τυχαία κατανεμημένοι. Τα δεδομένα που ανιχνεύονται μεταδίδονται μέσω των κόμβων σε ειδικά σημεία που ονομάζονται καταβόθρες (sinks). Οι καταβόθρες είναι κόμβοι με δύο ή περισσότερες διεπαφές δικτύων που λειτουργούν ως πύλες μεταξύ του ασύρματου δικτύου αισθητήρων και του δικτύου του χρήστη (π.χ. ένα LAN ή το Διαδίκτυο). Η καταβόθρα συνήθως συλλέγει και επεξεργάζεται τα δεδομένα από το δίκτυο και στέλνει μόνο τις αναγκαίες πληροφορίες στο χρήστη. Λαμβάνει επίσης εντολές από το χρήστη οι οποίες εκτελούνται στο εσωτερικό δίκτυο. Ένας κόμβος μπορεί να επικοινωνήσει άμεσα (single-hop) με τη καταβόθρα ή μέσω πολλαπλών αλμάτων (multi-hop) περνώντας την πληροφορία μέσω των γειτονικών του κόμβων. Η άμεση επικοινωνία συνεπάγεται τη μεταφορά δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, με αποτέλεσμα την υψηλή κατανάλωση ενέργειας. Χρησιμοποιώντας την επικοινωνία πολλαπλών αλμάτων είναι δυνατόν να μειωθεί η απόσταση μετάδοσης, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο ενεργειακά τη διάρκεια ζωής του δικτύου. Στη μετάδοση πολλαπλών αλμάτων η αρχιτεκτονική του δικτύου παίζει σημαντικό ρόλο. Οι αρχιτεκτονικές των δικτύων πολλαπλών αλμάτων συνήθως διαίρουνται στην επίπεδη (Flat) και στην ιεραρχική (Hierarchical ή Cluster) αρχιτεκτονική όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα [4].



Εικόνα 2.1. Απεικόνιση επίπεδης (Flat) και ιεραρχικής (Hierarchical ή Cluster) αρχιτεκτονικής δικτύων [3].

1. Επίπεδη (Flat) Αρχιτεκτονική

Συνήθως ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων αποτελείται από τους κόμβους αισθητήρων (sensors nodes) και τον απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης (base station). Στην επίπεδη αρχιτεκτονική κάθε κόμβος παίζει τον ίδιο ρόλο στην ανίχνευση και τη διαβίβαση των πληροφοριών. Όταν ένας κόμβος πρέπει να στείλει τα δεδομένα, υπολογίζει αρχικά τη συντομότερη διαδρομή από τη θέση του έως τον σταθμό και στη συνέχεια αποστέλλει τα δεδομένα στο σταθμό μέσω ενδιάμεσων (γειτονικών) κόμβων.

2. Ιεραρχική (Hierarchical ή Cluster) Αρχιτεκτονική

Στην ιεραρχική αρχιτεκτονική διάφοροι κόμβοι συνδυάζονται μεταξύ τους σχηματίζοντας πλέγματα. Τα δεδομένα από αυτό το σύνολο των κόμβων αποστέλλονται στον επικεφαλή του πλέγματος (head node) μέσω πολλαπλών αλμάτων. Ο επικεφαλής του πλέγματος συγκεντρώνει τα δεδομένα και τα αποστέλλει στο σταθμό κάνοντας μόνο ένα άλμα.

Προτού επιλεγεί μια από τις εν λόγω αρχιτεκτονικές για τη σχεδίαση και υλοποίηση ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων, πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη τα ακόλουθα ζητήματα και κριτήρια [4]:

- **Έλλειψη υποδομής** - Δεδομένου ότι στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων οι κόμβοι του δικτύου είναι τυχαία κατανεμημένοι, αυτό συνεπάγεται την έλλειψη υποδομής. Επομένως, αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την επιλογή της αρχιτεκτονικής δρομολόγησης του ασύρματου δικτύου.
- **Περιορισμένη ενέργεια** - Οι κόμβοι των αισθητήρων βασίζονται κυρίως στην μπαταρία ως πηγή ενέργειας. Δεδομένου ότι οι μπαταρίες είναι δύσκολο να αντικατασταθούν σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να ληφθεί κατά την αξιοποίηση της διαθέσιμης ενέργειας.
- **Ενεργειακή επάρκεια του δικτύου** - Η διάρκεια ζωής των αισθητήρων κόμβων εξαρτάται κυρίως από τις μπαταρίες τους. Όταν ένας κόμβος επιθυμεί να στείλει τα δεδομένα, θα πρέπει να επιλέξει τον κοντινότερο ενεργειακά κόμβο. Όσο επιλέγεται ο κοντινότερος ενεργειακά κόμβος, μπορεί να υπάρξει πιθανότητα διχοτόμησης του δικτύου. Ως εκ τούτου, πρέπει να επιλέγεται ένας κόμβος με ισορροπημένη ενέργεια ώστε να μεγιστοποιείται η διάρκεια ζωής του δικτύου.
- **Κόστος** - Δεδομένου ότι ο αριθμός των κόμβων που κατανέμονται στην περιοχή μπορεί να είναι της τάξης των χιλιάδων, το κόστος του εκάστοτε κόμβου πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.
- **Επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα** - Το δίκτυο αισθητήρων θα πρέπει να προσαρμόζεται σε αλλαγές όσον αφορά στη μεταβολή του μεγέθους του καθώς ορισμένοι κόμβοι ενδέχεται να μεταφερθούν σε άλλη τοποθεσία. Επιπρόσθετα, πρέπει να είναι σε θέση να προσαρμόζεται όταν νέοι κόμβοι εισέρχονται στο υπάρχον δίκτυο. Και τέλος, να προσαρμόζεται στην περίπτωση που κάποιος κόμβος υποστεί βλάβη ή τεθεί από τον διαχειριστή του δικτύου εκτός λειτουργίας.

- **Ποιότητα υπηρεσίας** - Το δίκτυο αισθητήρων θα πρέπει να διαθέτει ελάχιστη καθυστέρηση, μικρότερη επιβάρυνση στον έλεγχο, υψηλή απόδοση και αποτελεσματική κατανομή πόρων.
- **Κάλυψη** - Η κάλυψη εξαρτάται από την εμβέλεια, την τοποθεσία και την πυκνότητα των κόμβων ανίχνευσης. Για το λόγο αυτό, η περιοχή κάλυψης του δικτύου αισθητήρων θα πρέπει να είναι αρκούντως εκτεταμένη.
- **Έκθεση** - Οι αισθητήρες πρέπει να είναι σε θέση να παρατηρούν ένα στόχο στην περιοχή ανίχνευσης και το δίκτυο να διαθέτει τη μέγιστη ακτίνα έκθεσης (βέλτιστη περίπτωση κάλυψης).
- **Ασφάλεια** - Σε στρατιωτικές εφαρμογές οι ανιχνευθείσες πληροφορίες είναι απόρρητες. Η απώλεια ή η αλλοίωση δεδομένων μπορεί να συμβεί λόγω ενός "κακόβουλου" κόμβου στο δίκτυο. Κατά συνέπεια, η ασφάλεια πρέπει να παρέχεται με κριτήρια την εμπιστευτικότητα και την ακεραιότητα των δεδομένων.

2.3 Βασικές τοπολογίες WSN

Γνωρίζοντας ότι τα δίκτυα αισθητήρων μπορούν να αναπτύσσονται σε απομακρυσμένες περιοχές και λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα ζητήματα και κριτήρια σχεδίασης και υλοποίησής τους, παρατηρείται ότι η πιθανότητα σφαλμάτων στην επικοινωνία των κόμβων και η απώλεια δεδομένων είναι αρκετά μεγάλη. Συνεπώς, μια αποτελεσματική επιλογή τοπολογίας εξασφαλίζει ότι οι γειτονικοί κόμβοι θα βρίσκονται σε ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους ώστε να μειώνεται η πιθανότητα των σφαλμάτων αυτών. Οι βασικές τοπολογίες των ασύρματων δικτύων αισθητήρων, οι οποίες υπάρχουν και χρησιμοποιούνται, τροποποιούνται ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Τοπολογίες οι οποίες συναντώνται συχνά σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων είναι οι ακόλουθες [5]:

1. Τοπολογία Σημείου προς Σημείο (Point to Point Topology)

Η συγκεκριμένη τοπολογία αποτελείται από μια αποκλειστική, μακράς εμβέλειας και μεγάλης χωρητικότητας ασύρματη σύνδεση μεταξύ δύο αισθητήριων κόμβων [5]. Η τοπολογία αυτή ήταν η πιο συχνά εφαρμοσμένη στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Το κύριο πλεονέκτημα και ταυτόχρονα μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι το ενιαίο κανάλι ανταλλαγής δεδομένων. Αποτελεί αρχικά πλεονέκτημα, διότι προσφέρει ασφάλεια στην επικοινωνία μεταξύ των δύο κόμβων, ενώ παράλληλα αποτελεί μειονέκτημα, διότι σε περίπτωση βλάβης του κοινού καναλιού η επικοινωνία μεταξύ των δύο κόμβων διακόπτεται εντελώς.

2. Τοπολογία Αστέρα (Star Topology)

Τα δίκτυα που χρησιμοποιούν την τοπολογία Αστέρα συνδέονται με έναν κεντρικό κόμβο επικοινωνίας [6]. Οι κόμβοι τους δεν έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν απευθείας μεταξύ τους και η επικοινωνία τους δρομολογείται μέσω του κεντρικού κόμβου. Στην περίπτωση αυτή κάθε κόμβος καλείται "πελάτης" (client), ενώ ο κεντρικός κόμβος καλείται "εξυπηρετητής" (server) ή "καταβόθρα" (sink). Τα πλεονεκτήματα αυτής της τοπολογίας είναι η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας, η οποία αποτελεί ένα κρίσιμο κριτήριο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων καθώς και η επεκτασιμότητα που μπορεί να προσφέρει στο δίκτυο [5]. Από την άλλη πλευρά, σε περίπτωση βλάβης του κεντρικού κόμβου δεν υπάρχει εναλλακτικός τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων του δικτύου.

3. Τοπολογία Πλέγματος (Mesh Topology)

Η τοπολογία Πλέγματος αφορά στα μηνύματα τα οποία μπορούν να ακολουθήσουν οποιαδήποτε διαδρομή από την πηγή στον προορισμό [6]. Ένα τέτοιο δίκτυο στο οποίο κάθε κόμβος συνδέεται με οποιοδήποτε άλλο κόμβο του δικτύου ονομάζεται πλήρες πλέγμα ενώ υπάρχει και το μερικό πλέγμα στο οποίο υπάρχουν ορισμένοι κόμβοι, οι οποίοι ενώνονται έμμεσα με άλλους και όχι απευθείας όπως στο πλήρες πλέγμα. Η τοπολογία αυτή είναι η πιο αξιόπιστη, διότι

πλέον η επικοινωνία των κόμβων δεν στηρίζεται σε ένα κεντρικό κόμβο, επομένως σε περίπτωση βλάβης στο δίκτυο θα υπάρχει τουλάχιστον ένας διαθέσιμος τρόπος επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων [5]. Παράλληλα, η τοπολογία πλέγματος προσφέρει επεκτασιμότητα στο δίκτυο ενώ η πιθανότητα απώλειας δεδομένων είναι ελάχιστη. Ένα μειονέκτημα αυτού του μοντέλου αποτελεί η μεγιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας η οποία δεν είναι θεμιτή στις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων. Τέλος, πρόβλημα του δικτύου αυτού αποτελούν οι αυξημένοι χρόνοι αναμονής καθώς και οι πολυάριθμες περιττές διαδρομές που γίνονται προκειμένου τα δεδομένα να φτάσουν με ασφάλεια στον προορισμό τους.

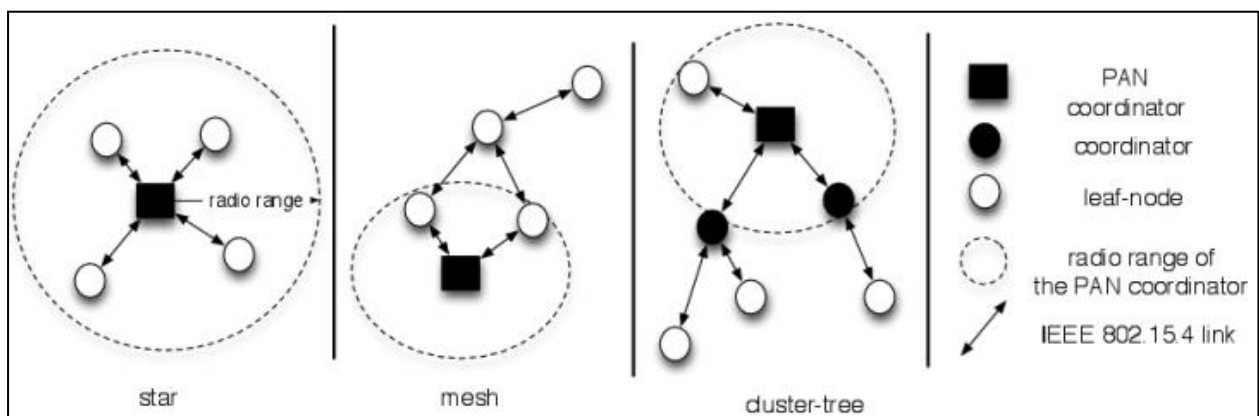
4. Τοπολογία με Υβριδική Τεχνολογία (Hybrid Technology Topology)

Σ' αυτό το είδος τοπολογίας, οι αισθητήρες είναι διατεταγμένοι σε τοπολογία Αστέρα μαζί με τους δρομολογητές (routers) οι οποίοι δρομολογητές είναι διατεταγμένοι σε τοπολογία Πλέγματος [5]. Με άλλα λόγια, η τοπολογία αυτή είναι μια μίξη διαφόρων τοπολογιών με συνέπεια να υιοθέτει τα πλεονεκτήματα των επιμέρους τοπολογιών της καθώς και ορισμένα μειονεκτήματά τους. Τα θετικά της τοπολογίας αυτής είναι η αξιοπιστία που παρέχει στο δίκτυο καθώς δεν υπάρχει πλέον κεντρικός κόμβος επικοινωνίας, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με την τοπολογία Πλέγματος αλλά και η ύπαρξη πολυάριθμων εναλλακτικών διαδρομών επικοινωνίας μεταξύ των κόμβων. Από την άλλη πλευρά, η διασύνδεση διαφόρων τύπων τοπολογιών είναι αρκετά περίπλοκη και ταυτόχρονα η επεκτασιμότητα αυτού του μοντέλου δικτύων δυσχεραίνεται όταν υπερβεί κάποιο όριο.

5. Τοπολογία Δέντρου (Tree Topology)

Στην τοπολογία Δέντρου όλοι οι αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στο πεδίο ανίχνευσης κατασκευάζουν ένα λογικό δέντρο [5]. Σ' αυτό το δέντρο έχουμε δύο τύπους κόμβων, το "γονέα" (parent node) και το "φύλλο" (leaf node). Τα πακέτα

δεδομένων περνούν από τον κόμβο "φύλλο" στο "γονέα" μέσω ενός ενδιάμεσου κόμβου. Το πλεονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι ότι καταναλώνει λιγότερη ενέργεια από άλλες τοπολογίες καθώς υπάρχει συγκεκριμένη δρομολόγηση των δεδομένων μεταξύ των κόμβων που επικοινωνούν. Τα αρνητικά της τοπολογίας αυτής είναι ότι είναι χρονοβόρα και δαπανηρή εφόσον όλο το κόστος εξαρτάται από το σχηματισμό του δέντρου. Έπειτα, εάν ένας γονέας υποστεί βλάβη, τότε ολόκληρο το υπό-δέντρο αποκόπτεται από το σταθμό βάσης. Η κατανάλωση ισχύος είναι ανομοιογενής στους κόμβους του δικτύου αυτού, διότι οι κόμβοι που βρίσκονται πιο κοντά στο σταθμό βάσης καταναλώνουν περισσότερη ενέργεια στην προώθηση πακέτων από όλους τους κόμβους στα επιμέρους τμήματά τους, ενώ οι κόμβοι φύλλα στο δέντρο δεν προωθούν πακέτα με συνέπεια να καταναλώνουν την ελάχιστη ισχύ. Υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση κατά την αποστολή δεδομένων από το φύλλο στον αρχικό κόμβο, διότι θα πρέπει να διασχιστούν πρώτα όλοι οι κόμβοι της ομάδας. Τέλος, σε αυτή την τοπολογία υπάρχει εξάρτηση σε μεγάλο βαθμό από τους τύπους ραδιοζεύξης που χρησιμοποιούνται στην υλοποίηση του δικτύου αυτού. Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζονται οι τοπολογίες Αστέρα, Πλέγματος και Δέντρου.



Εικόνα 2.2. Απεικόνιση τοπολογιών Αστέρα, Πλέγματος και Δέντρου. [Πηγή: <http://goo.gl/fR5Lh2>]

2.4 Πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας WSN

Η διαλειτουργικότητα μεταξύ εξοπλισμών διαφόρων κατασκευαστών επιτυγχάνεται με τη συμμόρφωσή τους σε υπάρχοντα πρότυπα [3]. Με αυτόν τον τρόπο, διαφορετικοί αισθητήρες οι οποίοι παράγονται από διαφορετικούς κατασκευαστές μπορούν να επικοινωνούν και να επιτυγχάνουν έναν κοινό στόχο σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων. Το πρότυπο IEEE 802.15.4 είναι το ηγετικό πρότυπο για τις περισσότερες από τις ασύρματες τεχνολογίες δικτύων αισθητήρων [7]. Πρόκειται για ένα χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και χαμηλού ποσοστού δεδομένων ασύρματο πρότυπο που αντικαθιστά όλο και περισσότερο την ενσύρματη τεχνολογία στις υπάρχουσες εφαρμογές. Καθορίζει το φυσικό στρώμα (PHY layer) και το στρώμα σύνδεσης (MAC layer) για ασύρματες τεχνολογίες όπως τα ZigBee, WirelessHART και 6LoWPAN, χωρίς όμως να υποστηρίζει ανώτερα στρώματα ή μεθόδους δικτύωσης. Το πρότυπο αυτό παρέχει αρκετή ευελιξία όσον αφορά στην απόσταση και στις θέσεις των συσκευών στο δίκτυο, με σκοπό να ανταποκρίνεται κατάλληλα στις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Το πρότυπο αυτό υποστηρίζει διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, αριθμούς καναλιών και ρυθμούς δεδομένων τα οποία φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Ζώνη συχνοτήτων	868 MHz	915 MHz	2.4 GHz
Περιοχή	Ευρώπη, Ιαπωνία	Ηνωμένες Πολιτείες	Παγκοσμίως
Κανάλια	1	10	16
Ρυθμοί δεδομένων	20 kbps	40 kbps	250 kbps

Πίνακας 2.1. Ζώνες συχνοτήτων, αριθμός καναλιών και ρυθμοί δεδομένων για το IEEE 802.15.4 πρότυπο [3].

Η προτιμώμενη ζώνη συχνοτήτων στις εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η 2.4GHz, διότι χρησιμοποιείται σε παγκόσμιο επίπεδο και διαθέτει τον υψηλότερο ρυθμό δεδομένων [3]. Ο υψηλός ρυθμός δεδομένων

μειώνει το χρόνο μετάδοσης πλαισίων (frames), μειώνοντας παράλληλα το χρόνο αδράνειας του μικροελεγκτή καθώς και τη συνολική κατανάλωση ενέργειάς του.

2.4.1 Ασύρματο πρότυπο ZigBee

Το ZigBee είναι μια τυποποιημένη, μικρής απόστασης, χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος, αξιόπιστη, ασφαλής και εύκολη στη χρήση ασύρματη τεχνολογία η οποία βασίζεται στο πρωτόκολλο IEEE 802.15.4, ώστε να ανταποκρίνεται στις αυξανόμενες απαιτήσεις του δικτύου για χαμηλής ισχύος, αποδοτική ασύρματη δικτύωση αισθητήρων και εφαρμογών ελέγχου [7]. Το ZigBee είναι μια αυτο-οργανούμενη και αυτο-αποκαθιστάμενη τεχνολογία ασύρματων δικτύων πλέγματος, η οποία υποστηρίζει πάνω από 64000 συσκευές σε ένα ενιαίο δίκτυο. Μπορεί να λειτουργεί στη 2.4GHz βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική (ISM) ζώνη μη αδειοδοτημένων συχνοτήτων με 16 κανάλια και ρυθμό δεδομένων 250Kbs για παγκόσμια χρήση. Στη ζώνη 915MHz με 10 κανάλια και ρυθμό δεδομένων 40Kbs για τη Βόρεια Αμερική και στη ζώνη 868MHz με 1 κανάλι και ρυθμό δεδομένων 20Kbs για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Οι αποστάσεις μετάδοσης ποικίλλουν ανάλογα με τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και τον τύπο των ZigBee συσκευών. Δύο επιλογές που προσφέρει το ZigBee είναι το απλό ZigBee το οποίο είναι σχεδιασμένο για μικρότερα δίκτυα και το ZigBee Pro το οποίο βελτιώνει τις δυνατότητες του απλού ZigBee με σκοπό την υποστήριξη μεγαλύτερων δικτύων, παρέχοντας την ίδια αξιοπιστία και σταθερότητα.

Το στρώμα δικτύωσης του ZigBee μπορεί να υποστηρίξει διαφορετικές τοπολογίες δικτύων, όπως την τοπολογία Αστέρα, Δέντρου και Πλέγματος και ορίζει πέντε είδη δικτυακών κόμβων [7]:

- **Συντονιστής Δικτύου (Coordinator)** - Κάθε ZigBee δίκτυο κατέχει μόνο ένα συντονιστή. Ο συντονιστής κατέχει πολλές ευθύνες, όπως την έναρξη, τη ρύθμιση και το αναγνωριστικό του δικτύου καθώς και την ανάθεση καναλιού ραδιοσυχνοτήτων. Επιπλέον, υποστηρίζει ενώσεις, σχεδιάζει το κέντρο εμπιστοσύνης, διαχειρίζεται τους κόμβους του δικτύου και

αποθηκεύει τις πληροφορίες τους, διατηρώντας έτσι τη συνολική γνώση του δικτύου.

- **Δρομολογητής (Router)** - Κάθε ZigBee δίκτυο, εκτός από εκείνο της τοπολογίας αστέρα, υποστηρίζει την ύπαρξη ενός ή περισσότερων δρομολογητών. Ο δρομολογητής προσφέρει πολλαπλά άλματα για τη δρομολόγηση μηνυμάτων μεταξύ των κόμβων του δικτύου και έχει επίσης τη δυνατότητα να αποδέχεται αιτήματα ένταξης στο δίκτυο σαν συντονιστής.
- **Κέντρο Αξιοπιστίας (Trust Center)** - Για την αρχιτεκτονική ασφαλείας ενός ZigBee δικτύου, ο συντονιστής είναι η θεμελιώδης συνιστώσα του και οι υπόλοιπες συσκευές του δικτύου εμπιστεύονται τις υπηρεσίες του, πχ τη διαχείριση εμπιστοσύνης, τη διαχείριση συσκευών και τη διαχείριση του δικτύου. Ο συντονιστής αποθηκεύει και διανέμει κλειδιά στις συσκευές.
- **Πύλη (Gateway)** - Η πύλη λειτουργεί ως γέφυρα μεταξύ του ZigBee δικτύου και ενός άλλου δικτύου. Για παράδειγμα, ένα ZigBee δίκτυο και ένα ενσύρματο δίκτυο δεν θα πρέπει να συνδέονται άμεσα μεταξύ τους. Για το σκοπό αυτό μια πύλη είναι απαραίτητη, ώστε να τα χωρίζει για λόγους ασφάλειας και για την καλύτερη διαχείριση της κυκλοφορίας.
- **Τερματικές συσκευές (End Devices)** - Τα απλούστερα συστήματα στα ZigBee δίκτυα είναι οι τερματικές συσκευές οι οποίες διαθέτουν ελάχιστο εξοπλισμό και μέγεθος μνήμης καθώς και μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Η αποστολή τους είναι μόνο να επικοινωνούν με τις υπόλοιπες τερματικές συσκευές, να ζητούν στοιχεία από το συντονιστή και να αναζητούν διαθέσιμα δίκτυα.

Το πρωτόκολλο ZigBee προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών [7]:

- **Αξιοπιστία** - Το ZigBee θεωρείται μια αξιόπιστη τεχνολογία, δεδομένου ότι εφαρμόζει μηχανισμούς αναγνώρισης και αναμετάδοσης από άκρο σε άκρο

με διπλό φιλτράρισμα των πακέτων. Η χρήση μετρητών ποιότητας της σύνδεσης είναι ένας σημαντικός δείκτης για την αξιοπιστία της τεχνολογίας αυτής. Το ZigBee επωφελείται του εκτιμητή ποιότητας σύνδεσης που προσφέρεται από το IEEE 802.15.4 με βάση την εκτίμηση του ποσοστού σφαλμάτων bit (BER), το οποίο υλοποιείται σε πολλά ασύρματα chips. Η τοπολογία αστέρα είναι η απλούστερη και αρκετά αξιόπιστη τοπολογία, όμως οι τοπολογίες σημείου προς σημείο μπορούν να αυξήσουν περαιτέρω την αξιοπιστία του δικτύου, δεδομένου ότι περιλαμβάνουν πολλαπλά μονοπάτια στον συντονιστή και στις τερματικές συσκευές.

- **Αποφυγή Παρεμβολών** - Οι περισσότερες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται σε οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως το Bluetooth, το Wi-Fi, το ασύρματο USB και οι φούρνοι μικροκυμάτων, μοιράζονται την ίδια 2.4GHz ISM μπάντα με το ZigBee. Ως εκ τούτου, το πρόβλημα της παρεμβολής είναι αναπόφευκτο σε τέτοιες καταστάσεις. Το ZigBee χρησιμοποιεί διαφορετικές τεχνικές κατανομής φάσματος με σκοπό την προστασία του από τις πολλαπλές παρεμβολές στη ζώνη αυτή. Πράγματι, το IEEE 802.15.4 προτείνει διάφορα κανάλια στις 915MHz και 2.4GHz ζώνες για το ZigBee, το οποίο μπορεί να επιλέξει με τη σειρά του το κανάλι εκείνο με τις λιγότερες παρεμβολές. Επιπλέον, ο συντονιστής έχει τη δυνατότητα να επανενώσει το δίκτυο σε ένα διαφορετικό κανάλι σε περίπτωση παρεμβολών. Επιπλέον, το στρώμα MAC του IEEE 802.15.4 βασίζεται στο CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), όπου ο αισθητήριος κόμβος θα "ακούει" το κανάλι προτού μεταδώσει το πακέτο.
- **Παγκόσμια Εφαρμογή** - Το πρωτόκολλο ZigBee έχει παγκόσμια αποδοχή σε όλες σχεδόν τις χώρες, δεδομένου ότι υιοθετεί το φυσικό στρώμα του IEEE 802.15.4 με 16 κανάλια για παγκόσμια χρήση, 915MHz με 10 κανάλια για τη Βόρεια Αμερική και 868MHz με ένα κανάλι για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

- **Χαμηλό Κόστος** - Οι συσκευές και οι πλατφόρμες οι οποίες βασίζονται στο ZigBee είναι οικονομικώς αποδοτικές με την απλότητα και την ευελιξία του 802.15.4 πρωτοκόλλου. Η συντήρηση του συστήματος, η ευελιξία και η ζωή της μπαταρίας θα πρέπει να συμπεριληφθούν επίσης στο συνολικό κόστος του συστήματος.
- **Ασφάλεια** - Το ZigBee περιέχει ισχυρούς μηχανισμούς κρυπτογράφησης και πιστοποίησης γνησιότητας οι οποίοι εφαρμόζονται στα στρώματα εφαρμογών, δικτύωσης και MAC. Το δίκτυο μοιράζεται ένα κλειδί δικτύου ως ένα κοινό κλειδί και όλες οι συσκευές δικτύου το χρησιμοποιούν για να ασφαλίζουν τα πλαίσια του δικτύου. Από την άλλη πλευρά, το κλειδί ζεύξης είναι ένα μυστικό κλειδί συνόδου που είναι μοναδικό για δύο ZigBee συσκευές οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους. Το κύριο κλειδί είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία κλειδιών ζεύξης.
- **Μεγάλη Διάρκεια Ζωής μπαταριών** - Οι ZigBee κόμβοι είναι ενεργειακά πολύ αποδοτικοί και η διάρκεια ζωής των μπαταριών τους μπορεί να κυμανθεί από μερικούς μήνες έως και πολλά χρόνια. Το πρότυπο αυτό διαθέτει λειτουργία ύπνου με σκοπό την παράταση του χρόνου ζωής του δικτύου. Οι δρομολογητές και οι συντονιστές μένουν πάντα "ξύπνιοι" ενώ οι τερματικές συσκευές μπορούν να "κοιμούνται" για μεγάλο χρονικό διάστημα και να στέλνουν δεδομένα για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Κατά τη διάρκεια του ύπνου, ο συντονιστής και οι δρομολογητές κρατούν τα δεδομένα και όταν οι τερματικές συσκευές είναι ξύπνιες, στέλνουν αίτημα προς τους γονικούς τους κόμβους αν υπάρχουν πακέτα προς αποστολή.
- **Επεκτασιμότητα** - Τα PHY και MAC στρώματα του προτύπου IEEE 802.15.4, τα οποία υιοθετεί το ZigBee πρωτόκολλο, υποστηρίζουν το χειρισμό μεγάλου αριθμού συσκευών σε ένα δίκτυο, με συνέπεια το δίκτυο να είναι ιδιαίτερα επεκτάσιμο. 255 ZigBee κόμβοι (ένας είναι ο Master κόμβος και οι υπόλοιποι είναι Slave κόμβοι) μπορούν να περιέχονται σε ένα τέτοιο δίκτυο και στην περίπτωση που οι συντονιστές του δικτύου διασυνδεθούν μεταξύ

τους, πχ σε τοπολογία αστέρα, τότε το μέγεθος του συνολικού δικτύου μπορεί να είναι μέχρι και 65.000 κόμβους.

Υπάρχουν πολλές πιστοποιημένες εταιρείες, όπως οι Freescale, Digi International, Ember, οι οποίες έχουν χορηγήσει επιτυχημένα σχέδια για τα προϊόντα ZigBee [7]. Μερικά προϊόντα των εταιριών αυτών είναι τα ακόλουθα:

- ***XBee και XBee-PRO*** - Τα XBee και XBee PRO είναι ZigBee ενσωματωμένα RF modules, τα οποία αναπτύχθηκαν από την Digi International με σκοπό την παροχή χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος ασύρματης συνδεσιμότητας σε δίκτυα πλέγματος ZigBee. Τα XBee modules παρέχουν εύκολη διαδικασία εγκατάστασης και εφαρμογής στους χρήστες και μπορούν να λειτουργήσουν σε ποικιλία πρωτοκόλλων και συχνοτήτων.
- ***MC1319x*** - Η εταιρεία Freescale παρέχει μια ZigBee πλατφόρμα με την οικογένεια πομποδεκτών MC1319x για εύκολες στη χρήση, χαμηλής ισχύος και χαμηλού κόστους εφαρμογές μέσω των δικτύων ZigBee. Για παράδειγμα, ένας MC13191 πομποδέκτης RF μπορεί να λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz και να υποστηρίζει ασύρματες εφαρμογές, όπως ασύρματα συστήματα ασφαλείας, τηλεχειριστήρια και παρακολούθηση ασθενών.
- ***EM250*** - Η εταιρεία Ember ανέπτυξε μια single-chip λύση, το EM250, το οποίο λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων 2.4GHz και υποστηρίζει χαμηλού κόστους, χαμηλής ισχύος ZigBee εφαρμογές, όπως αυτοματοποίηση και έλεγχο κτηρίων, οικιακούς αυτοματισμούς και έλεγχο, καθώς και εντοπισμό περιουσιακών στοιχείων.

2.4.2 Ασύρματο πρότυπο WirelessHART

Το WirelessHART είναι το πρώτο ανοιχτό βιομηχανικό πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας, το οποίο σχεδιάστηκε ως ασύρματη επέκταση του πρωτοκόλλου HART [7]. Σε σύγκριση με το πρωτόκολλο HART, το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως στη διαδικασία του βιομηχανικού αυτοματισμού με χιλιάδες δίκτυα και συσκευές HART, το WirelessHART προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα του βιομηχανικού ελέγχου. Χαρακτηρίζεται από απλότητα, αντοχή, χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και από μία πιο ευέλικτη διαμόρφωση του βιομηχανικού αυτοματισμού και του ελέγχου εφαρμογών. Αποτελεί μια ισχυρή ασύρματη τεχνολογία δικτύωσης, η οποία βασίζεται στο φυσικό στρώμα του IEEE 802.15.4 και λειτουργεί στη 2.4GHz βιομηχανική, επιστημονική και ιατρική (ISM) ζώνη μη αδειοδοτημένων συχνοτήτων με 16 κανάλια και ρυθμό δεδομένων 250Kbs για παγκόσμια χρήση, όπως πολλές άλλες ασύρματες τεχνολογίες. Παρέχει ασφαλή, ιδιαίτερα αξιόπιστη και ασύρματη τεχνολογία πλέγματος βασισμένη στο TDMA, η οποία είναι συμβατή με τύπους συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές και συμβατή με την ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία HART στη βιομηχανική διαδικασία.

Το πρότυπο WirelessHART προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών [7]:

- **Αποφυγή Παρεμβολών** - Το WirelessHART χρησιμοποιεί την τεχνική κατανομής φάσματος (FHSS) για να ξεπεράσει τις παρεμβολές εντός των διαύλων επικοινωνίας στο βιομηχανικό περιβάλλον. Επιπλέον, ο μηχανισμός σαφούς εκτίμησης του καναλιού (CCA) υιοθετείται ως προαιρετική επιλογή πριν από τη μετάδοση του μηνύματος.
- **Απλότητα** - Η απλότητα είναι το κύριο δομικό στοιχείο του προτύπου WirelessHART. Ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του WirelessHART, όπως η αυτο-οργάνωση και η αυτο-ίαση του ασύρματου δικτύου, το μειωμένο κόστος εγκατάστασης και καλωδίωσης, η εύκολη προσαρμογή στις αλλαγές

στις εγκατεστημένες υποδομές, επιτρέπουν στους χρήστες να εφαρμόσουν εύκολα το πρότυπο WirelessHART και να επωφεληθούν από τα οφέλη του.

- **Αξιοπιστία** - Η αξιοπιστία είναι μια από τις πιο σημαντικές απαιτήσεις στο πεδίο του βιομηχανικού ελέγχου. Ωστόσο, η ποιότητα των επικοινωνιών στο βιομηχανικό περιβάλλον απειλείται από τις μεταβαλλόμενες συνθήκες, τις διαφορετικές πηγές ραδιοσυχνοτήτων και ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών. Για το λόγο αυτό το WirelessHART βρίσκει εύκολα εναλλακτικές διαδρομές και προσαρμόζει τα μονοπάτια επικοινωνίας, ώστε να παρέχουν τη βέλτιστη απόδοση. Επιπλέον, όλες οι συσκευές πεδίου έχουν δυνατότητες δρομολόγησης και σχηματίζουν εύκολα ένα δίκτυο πλέγματος.
- **Ασφάλεια** - Το WirelessHART είναι ένα ασφαλές πρωτόκολλο από τότε που ισχυρές, συνεχείς και πολυεπίπεδες μετρήσεις ασφαλείας χρησιμοποιούνται για την παροχή ασφάλειας στη διαβίβαση των δεδομένων. Παρέχει ασφάλεια τόσο στο στρώμα δικτύωσης όσο και στο MAC στρώμα, χρησιμοποιώντας τέσσερα διαφορετικά κλειδιά ασφαλείας, το δημόσιο κλειδί, το κλειδί ένταξης, το κλειδί δικτύου και το κλειδί συνόδου.
- **Συμβατότητα** - Το WirelessHART δεν αποτελεί ένα νέο πρωτόκολλο, αλλά την ασύρματη επέκταση του πρωτοκόλλου HART για βιομηχανικούς αυτοματισμούς και τον έλεγχο διαδικασιών. Για να είναι σε θέση να επωφεληθεί από το ευρέως χρησιμοποιούμενο πρωτόκολλο HART, έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι συμβατό με αυτό, ακόμη και αν διαθέτουν διαφορετικά φυσικά και στρώματα ζεύξης δεδομένων.

Το WirelessHART υποστηρίζει υβριδικές (Πλέγματος/Αστέρα) τοπολογίες δικτύων καθώς και τοπολογίες απλού Αστέρα [7]. Τα έξι βασικά συστατικά ενός WirelessHART δικτύου είναι τα εξής:

- **Συσκευές Πεδίου (Field Devices)** - Οι συσκευές πεδίου είναι κατανεμημένοι πραγματικοί αισθητήρες οι οποίοι συνδέονται στον εργοστασιακό εξοπλισμό και είναι ικανοί να δρομολογούν και να διαβιβάζουν πακέτα.

Διαθέτουν επίσης τη δυνατότητα να συνδέονται με τον εργοστασιακό εξοπλισμό μέσω άλλων ασύρματων δικτύων ή απευθείας μέσω του δικτύου WirelessHART.

- **Προσαρμογείς (Adapters)** - Οι προσαρμογείς είναι οι κινητήριοι μοχλοί της ενθυλάκωσης ενός ή περισσότερων ενσύρματων συσκευών HART στο δίκτυο WirelessHART. Στην περίπτωση δικτύου HART τοπολογίας σημείου προς σημείο, μόνο ένας προσαρμογέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση μιας συσκευής HART στο δίκτυο.
- **Δρομολογητές (Routers)** - Οι δρομολογητές είναι ειδικές μορφές των συσκευών πεδίου, οι οποίοι δεν παρεμβαίνουν στη διαδικασία μέχρι να χρειαστούν για τη βελτίωση της ασύρματης συνδεσιμότητας.
- **Πύλη (Gateway)** - Οι πύλες αξιοποιούνται ως γέφυρες οι οποίες παρέχουν τη σύνδεση μεταξύ του WirelessHART δικτύου και της εργοστασιακής διαδικασίας. Κάθε δίκτυο έχει μία πύλη η οποία αποτελείται από μια εικονική πύλη και ένα ή περισσότερα σημεία πρόσβασης. Οι εικονικές πύλες έχουν άμεση επικοινωνία με το διαχειριστή δικτύου.
- **Σημεία Πρόσβασης (Access Points)** - Η πραγματική φυσική σύνδεση με το δίκτυο WirelessHART παρέχεται από τα σημεία πρόσβασης, όπου κάθε τέτοιο σημείο κατέχει και ένα μοναδικό αναγνωριστικό.
- **Διαχειριστής Δικτύου (Network Manager)** - Ο διαχειριστής του δικτύου είναι υπεύθυνος για τη συνολική διαμόρφωση και συντήρηση του WirelessHART δικτύου. Συλλέγει πληροφορίες από τις συσκευές πεδίου μέσω της πύλης για τον προσδιορισμό της κατάστασης του δικτύου, των διαδρομών οι οποίες πρόκειται να διαμορφωθούν και διαχειρίζεται τους δικούς του και τους κοινόχρηστους πόρους. Ο διαχειριστής του δικτύου ενημερώνει τις πληροφορίες δρομολόγησης και το σχέδιο επικοινωνίας, όταν νέοι κόμβοι αισθητήρων εντάσσονται στο δίκτυο WirelessHART.
- **Διαχειριστής Ασφάλειας (Security Manager)** - Ο διαχειριστής ασφάλειας είναι υπεύθυνος για την παρακολούθηση της κατάστασης ασφάλειας του

δικτύου και την πρόληψη επιθέσεων, δημιουργώντας συνεδρίες, ενσωματώσεις και κλειδιά για το δίκτυο σε συνεργασία με το διαχειριστή του δικτύου.

Η εταιρεία Nivis προσφέρει hardware λύσεις, όπως RF modules, πύλες, σημεία πρόσβασης, διαχειριστή συστημάτων και ασφαλείας, για το πρότυπο WirelessHART, με σκοπό την παροχή διαλειτουργικού και ευέλικτου βιομηχανικού αυτοματισμού και εφαρμογών διαχείρισης της επιχείρησης [7]. Οι λύσεις της εταιρείας Nivis παρέχουν διάφορες ευέλικτες τοπολογίες δικτύων WirelessHART, με βάση τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

2.4.3 Ασύρματο πρότυπο 6LoWPAN

Τα χαμηλής ισχύος ασύρματα δίκτυα προσωπικής περιοχής (LoWPAN) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για τις ενσωματωμένες εφαρμογές, όπως αυτές της παρακολούθησης και ελέγχου που απαιτούν αρκετούς κόμβους αισθητήρων χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ισχύος και χαμηλές υπολογιστικές δυνατότητες για την κάλυψη μεγάλης γεωγραφικής περιοχής [7]. Ωστόσο, τα LoWPAN ενδέχεται να μην πληρούν συνεχώς τις απαιτήσεις για αξιοπιστία και ασφάλεια, λόγω της μικρής τους εμβέλειας, των χαμηλής ισχύος χαρακτηριστικών τους και των αποτυχιών των ασυρμάτων κόμβων τους. Για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα, η ομάδα εργασίας του Internet Engineering Task Force (IETF) 6LoWPAN κυκλοφόρησε την τεχνολογία 6LoWPAN ενσωματώνοντας το IPv6 στις χαμηλής ισχύος και χαμηλού ρυθμού ασύρματες ενσωματωμένες εφαρμογές και δίκτυα με την ενσωμάτωση ενός στρώματος υιοθέτησης, μιας νέας μορφής πακέτων και της διαχείρισης διευθύνσεων. Η ιδέα της παροχής ασύρματης σύνδεσης στο Internet σε χαμηλούς ρυθμούς δεδομένων με χαμηλό duty cycle για συσκευές χαμηλών ικανοτήτων ήταν πολύ ελπιδοφόρα για να αναβαθμιστούν τα ασύρματα δίκτυα και να εγγυηθούν τη σωστή επικοινωνία από τη μια άκρη τους στην άλλη.

Οι προηγούμενες παραδοχές σχετικά με την επέκταση του IP στα LoWPAN δεν ήταν ενθαρρυντικές λόγω των υψηλών πόρων που καταναλώνουν και των μεγαλύτερου μεγέθους πακέτων (τουλάχιστον 1280 bytes) της τεχνολογίας IP [7]. Για να ξεπεραστεί το ζήτημα αυτό, το στρώμα προσαρμογής του 6LoWPAN δημιουργεί μικρότερα πακέτα με σκοπό να χωρέσουν στο μέγεθος πλαισίου του IEEE 802.15.4 (128 bytes), μέσω της λειτουργίας συμπίεσης κεφαλίδας. Το 6LoWPAN βασίζεται και αυτό στο φυσικό και το στρώμα ζεύξης δεδομένων του IEEE 802.15.4 πρωτόκολλου. Υποστηρίζει τοπολογίες τόσο αστέρα όσο και πλέγματος και αποτελείται από πολλά χαμηλής ισχύος ασύρματα δίκτυα (LoWPAN), τα οποία είναι υπεύθυνα για την αποστολή και λήψη πακέτων IP. Τα LoWPAN αποτελούνται από κόμβους που μπορούν να λειτουργούν ως κεντρικοί φορείς ή ως δρομολογητές και μπορούν να αναγνωρίζονται από ένα μοναδικό IPv6. Οι κόμβοι έχουν τη δυνατότητα να στέλνουν και να λαμβάνουν πακέτα IPv6, όμως περιορίζονται στις δυνατότητες επεξεργασίας. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας 6LoWPAN είναι [7]:

- **Επεκτασιμότητα** - Οι περισσότερες ασύρματες τεχνολογίες δικτύων αισθητήρων αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της επεκτασιμότητας όταν το μέγεθός τους μεγαλώσει αρκετά. Το 6LoWPAN υπερνικά αυτό το ζήτημα υιοθετώντας ένα στρώμα προσαρμογής με τη λειτουργία συμπίεσης της κεφαλίδας του εξασφαλίζοντας τη σύνδεση με άλλα δίκτυα που βασίζονται στο IP χωρίς επιπλέον πύλες.
- **Φορητότητα** - Η ευρεία διάδοση της τεχνολογίας IP-mobility μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα για τη λειτουργία της φορητότητας της τεχνολογίας 6LoWPAN.
- **Διαχειρισιμότητα** - Στη διαχείριση του δικτύου είναι πολύ σημαντικό για το πρότυπο 6LoWPAN να είναι σε θέση να κλιμακώνεται σωστά παρά τις περιορισμένες δυνατότητες εμφάνισης και εισόδου που κατέχει. Ως εκ τούτου, τα 6LoWPAN δίκτυα επωφελούνται από την πρόοδο της τεχνολογίας IP, διευκολύνοντας τη διαχείριση του δικτύου. Τα ήδη

χρησιμοποιούμενα εργαλεία διαχείρισης, ανάθεσης και διάγνωσης και το απλό πρωτόκολλο διαχείρισης δικτύου (SNMP) διευκολύνουν την ικανότητα διαχείρισης της τεχνολογίας 6LoWPAN.

- **Παρεμβολές** - Το 6LoWPAN βασίζεται στο χαμηλής ισχύος, χαμηλής απόδοσης πρότυπο IEEE 802.15.4 και, ως εκ τούτου, οι ασύρματες επικοινωνίες είναι πιο επιρρεπείς στις αποτυχίες σύνδεσης και τις παρεμβολές άλλων τεχνολογιών που μοιράζονται την ίδια ζώνη επικοινωνίας.
- **Ασφάλεια** - Η διασφάλιση της ασφάλειας από άκρο σε άκρο στα 6LoWPAN δίκτυα αποτελεί ένα ακόμα ανοιχτό ερευνητικά ζήτημα. Υπήρξαν κάποιες έρευνες προς συγκεκριμένη περιοχή, όπως των Granjal et al. [8] οι οποίοι πρότειναν νέες συμπιεσμένες 6LoWPAN κεφαλίδες ασφαλείας για την προστασία των επικοινωνιών IPv6 σε IEEE 802.15.4 ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Επιπλέον, οι Raza et al. [9] πρότειναν ένα σύστημα το οποίο καθορίζει μια κεφαλίδα ταυτοποίησης και ένα ενθυλακωμένο ωφέλιμο φορτίο ασφαλείας με σκοπό την παροχή ασφαλούς από άκρη σε άκρη επικοινωνίας μεταξύ IP δικτύων αισθητήρων και του παραδοσιακού Διαδικτύου.

Η εταιρεία SensiNode παρέχει μια ολοκληρωμένη λύση υλικού και λογισμικού για την υποστήριξη χαμηλής ισχύος ασύρματης δικτύωσης με την τεχνολογία IP [7]. Η εταιρεία Hitachi παρέχει 6LoWPAN λύσεις για την τεχνολογία Renesas αισθητήριων κόμβων, οι οποίες είναι συμβατές με το σύστημα Arch Rock.

2.4.4 Σύνοψη ασύρματων προτύπων επικοινωνίας

Στον ακόλουθο συγκριτικό πίνακα συνοψίζονται τα τρία κυρίαρχα ασύρματα πρότυπα ZigBee, WirelessHART και 6LoWPAN.

Comparison of wireless technologies			
Feature	WirelessHART	ZigBee	6LoWPAN
Security	AES-128 plus data link layer security	AES-128 plus application layer security	AES-128
Scalability	80–100 field devices supported by per gateway	65,535 nodes are supported by per coordinator	High
Reliability	Channel hopping, TDMA, DSSSC	ACK, retransmissions, link quality estimators	Simple 16-bit checksum mechanism
Power consumption	Low	Low	Medium
Network management	High	Medium	High with SNMP
Data rate	250 Kbps	250 Kbps	20–250 Kbps
Application types	Industrial app.	Home automation, building automation	Health care, industrial monitoring

Protocol layers	WirelessHART	ZigBee	6LoWPAN
PHY Layer	IEEE 802.15.4-2006 with 2.4 GHz Radio only	IEEE 802.15.4-2003 with 868/915 MHz or 2.4 GHz Radio	IEEE 802.15.4 with 2.4 GHz Radio
Network topology	Star, mesh	Star, tree, mesh	Mesh
Application areas	Industrial process monitoring and control	Home automation, consumer devices	Environment monitoring and control
Network routing	Graph routing	AODV and tree routing	Ad hoc on-demand distance vector routing and dynamic MANET on-demand routing

Πίνακας 2.2. Σύνοψη και σύγκριση ασύρματων προτύπων επικοινωνίας [7].

2.5 Η υποδομή ενός τυπικού αισθητήριου κόμβου

Ένας αισθητήρας είναι μια συσκευή η οποία μετρά μια φυσική ποσότητα πχ φως, θερμοκρασία ή πίεση και τη μετατρέπει σε ένα σήμα το οποίο μπορεί να διαβαστεί από έναν άνθρωπο ή από ένα όργανο [10]. Οι αισθητήρες είναι συνήθως μικρές, αυτόνομες, τροφοδοτούμενες από μπαταρίες και χαμηλού κόστους συσκευές. Ένας αισθητήριος κόμβος είναι ένας κόμβος δικτύου αισθητήρων, ο οποίος έχει τη δυνατότητα να επεξεργάζεται, να συλλέγει πληροφορίες από τους αισθητήρες και να επικοινωνεί με άλλους συνδεδεμένους κόμβους στο δίκτυο. Σήμερα, οι αισθητήρες και οι κόμβοι αισθητήρων έχουν πολλές εφαρμογές στην κοινωνία.

Συνήθως οι αισθητήριοι κόμβοι δεν χρησιμοποιούνται μεμονωμένα αλλά αποτελούν μέρος ενός ευρύτερου και πιο σύνθετου συστήματος που μπορεί να περιέχει μεγάλο αριθμό κόμβων [10]. Έχουν δυνατότητες επικοινωνίας (συνήθως ασύρματης) που τους επιτρέπουν την αποστολή των συλλεχθέντων δεδομένων στους χρήστες ή σε άλλους επεξεργαστές.

Ένας αισθητήριος κόμβος θα πρέπει να είναι σε θέση να προσφέρει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά, με σκοπό τη βολική και αποδοτική του χρήση σε ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων [10]:

- **Λειτουργικότητα** - Η συσκευή θα πρέπει να είναι σε θέση να ανιχνεύει και να συλλέγει πληροφορίες από τον περιβάλλοντα χώρο της όπως θερμοκρασία, πίεση, φως, καπνό, υγρασία ή ήχο.
- **Ελεξιμότητα** - Εάν απαιτείται, η συσκευή θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει ενεργοποιητές όπως διακόπτες, σερβοκινητήρες και κινητήρες που θα της επέτρεπαν να ελέγξει διάφορες δράσεις.
- **Επεκτασιμότητα** - Η αρχιτεκτονική της συσκευής θα πρέπει να είναι επεκτάσιμη έτσι ώστε να μπορεί να προσθέτει νέες λειτουργίες, εφόσον απαιτείται. Για παράδειγμα, σε ορισμένους κόμβους μπορεί να είναι απαραίτητη η ύπαρξη οθόνης.

- **Αποθηκευτικό Χώρο** - Η συσκευή θα πρέπει να έχει επαρκή μνήμη για να αποθηκεύονται τα δεδομένα τα οποία συλλέγονται. Θα πρέπει επίσης να είναι σε θέση να εκτελεί απλούς υπολογισμούς και να διαβιβάζει μόνο τα απαιτούμενα στοιχεία και τις πληροφορίες δρομολόγησης, αν η συσκευή είναι μέρος ενός δικτύου.
- **Μετατροπή** - Οι πληροφορίες που ανιχνεύονται από τους αισθητήρες θα πρέπει να μετατρέπονται στις κατάλληλες μορφές για την αποθήκευση και επεξεργασία τους.
- **Επικοινωνία** - Η συσκευή θα πρέπει να είναι σε θέση να επικοινωνεί (αποστολή και λήψη) με άλλες συσκευές, προκειμένου να συγκεντρώνει ή να προωθεί τις πληροφορίες του φυσικού περιβάλλοντος.
- **Ενεργειακή Αυτονομία** - Η συσκευή θα πρέπει να κατέχει τη δική της πηγή ενέργειας.

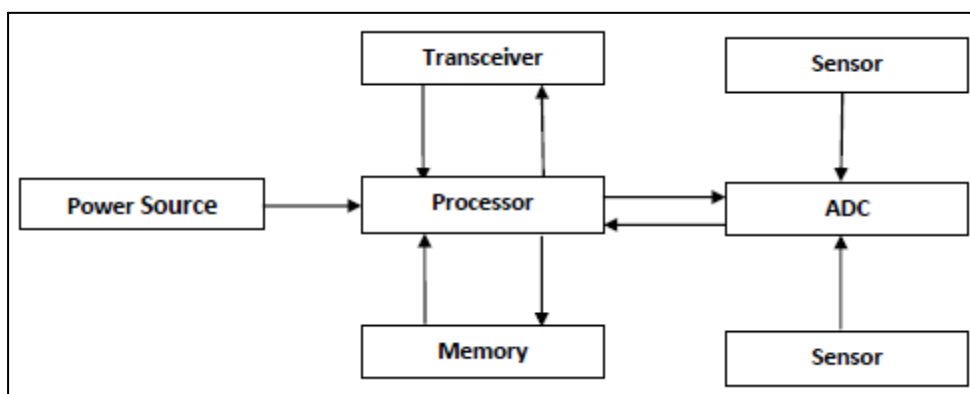
Ένας αισθητήριος κόμβος περιλαμβάνει μερικά βασικά στοιχεία τα οποία αναλύονται ακολούθως [10]:

- Ο επεξεργαστής (processor) είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση και το συντονισμό των διαφόρων δραστηριοτήτων του αισθητήριου κόμβου και την επεξεργασία δεδομένων. Οι αισθητήρες (sensors) μετρούν ορισμένες από τις ιδιότητες του φυσικού περιβάλλοντος. Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC) μετατρέπει τα αναλογικά δεδομένα τα οποία μετρούνται από τους αισθητήρες σε ψηφιακή μορφή, ώστε να μπορούν να αποθηκεύονται και να υφίστανται επεξεργασία.
- Ο πομποδέκτης (transceiver) είναι μια ασύρματη συσκευή η οποία μπορεί να λαμβάνει και να μεταδίδει πληροφορίες. Αν ο κόμβος είναι μέρος ενός δικτύου, τα δεδομένα μπορούν να μεταδοθούν από την πηγή στον προορισμό μέσω single-hop ή multi-hop επικοινωνίας.
- Η πηγή ισχύος (power source) παρέχει ενέργεια στους αισθητήρες καθώς και στα υπόλοιπα συστατικά του αισθητήριου κόμβου. Η πηγή ισχύος μπορεί να

υποστηρίζεται από ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, όπως από ηλιακά πάνελ.

- Ο επεξεργαστής αποθηκεύει επίσης τα δεδομένα που συλλέχθηκαν στη μνήμη (memory) μέχρι να διαβιβαστούν στον επόμενο κόμβο.
- Ο επεξεργαστής παράγει μηνύματα ελέγχου τα οποία ελέγχουν τότε ο αισθητήρας θα αρχίσει ή θα σταματήσει τη συλλογή πληροφοριών περιβάλλοντος και τότε ο πομποδέκτης είναι σε κατάσταση λήψης ή μετάδοσης ανάλογα με το σενάριο.
- Όταν ο κόμβος είναι μέρος ενός δικτύου, ο επεξεργαστής διατηρεί επίσης πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τους γειτονικούς κόμβους, αποφασίζει τη διαδρομή δρομολόγησης και αποστέλλει τις πληροφορίες δρομολόγησης στους άλλους κόμβους.

Η σειρά με την οποία τα στοιχεία αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους σε ένα σενάριο Αίσθησης, Συλλογής και Μετάδοσης Δεδομένων παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα και περιγράφεται ακολούθως:



Εικόνα 2.3. Διάγραμμα συνεργασίας επιμέρους στοιχείων ενός κόμβου [10].

Περιγραφή διαδικασίας [10]:

1. Ο επεξεργαστής αρχικά αποστέλλει ένα μήνυμα ελέγχου για να ενεργοποιήσει τον αισθητήρα.
2. Ο αισθητήρας διαβάζει τις πληροφορίες σε αναλογική μορφή και τις αποστέλλει στον ADC.
3. Ο ADC μετατρέπει τις αναλογικές πληροφορίες σε ψηφιακή μορφή και τις αποστέλλει στον επεξεργαστή.
4. Ο επεξεργαστής επεξεργάζεται τα δεδομένα σε τοπικό επίπεδο.
5. Ο επεξεργαστής αποθηκεύει τις πληροφορίες που συλλέγονται.
6. Ο επεξεργαστής αποστέλλει τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στον πομποδέκτη ή/και στη μνήμη.

Συνοψίζοντας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι εκτός από τα πλεονεκτήματα που μας προσφέρει ένας αισθητήριος κόμβος, παρουσιάζει και αρκετά μειονεκτήματα τα οποία δυσχεραίνουν την περαιτέρω βελτίωση και εξέλιξή του [10]. Αρχικά, λόγω του μεγέθους και του κόστους τους παρέχουν περιορισμένους πόρους σχετικά με τις επιδόσεις του επεξεργαστή, την απόσταση κάλυψης, τη χωρητικότητα μνήμης καθώς και τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας. Έπειτα, οι αισθητήριοι κόμβοι συνήθως δεν επιβλέπονται, με συνέπεια να υπόκεινται σε φυσικές αλλοιώσεις ή καταστροφές. Τέλος, η χρήση τους ενδέχεται να επηρεάσει την ιδιωτική ζωή και τη διάθεση των ανθρώπων, πράγμα το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την εφαρμογή τους.

3ο Κεφάλαιο: Στοιχεία Θεωρίας

3.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα δοθεί μια συνοπτική παρουσίαση εννοιών οι οποίες θα αναφερθούν αρκετά τόσο στην υλοποίηση του υλικού (hardware) όσο και του λογισμικού (software) μέρους του ολοκληρωμένου συστήματος.

3.2 Μικροελεγκτής και μικροεπεξεργαστής

Συχνά υπάρχει μία σύγχυση μεταξύ των όρων μικροεπεξεργαστή και μικροελεγκτή [11]. Και τα δύο έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά αλλά ταυτόχρονα και σημαντικές διαφορές. Τόσο το ενσωματωμένο κύκλωμα ενός μικροεπεξεργαστή όσο και ενός μικροελεγκτή δεν μπορούν να διακριθούν από την εξωτερική τους εμφάνιση. Είναι διαθέσιμα σε διαφορετικές εκδόσεις ξεκινώντας από 6 ακροδέκτες και φτάνοντας έως και τους 100 ή ακόμη και περισσότερους ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους.

Ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει σε ένα μόνο chip μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), σταθερές ποσότητες μνήμης RAM, ROM καθώς και θύρες I/O μαζί με άλλα περιφερειακά [11]. Οι μικροελεγκτές έχουν σχεδιαστεί ώστε να αξιοποιούνται σε εφαρμογές που υπάρχει σχέση εισόδου και εξόδου, όπου έπειτα από επεξεργασία της κατάστασης της εισόδου παράγεται η ανάλογη έξοδος. Τα οφέλη αυτής της single chip λύσης είναι ότι μειώνει αισθητά το μέγεθος και το κόστος της υλοποίησης των εφαρμογών που την αξιοποιούν. Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλοί κατασκευαστές οι οποίοι παράγουν μικροελεγκτές με ένα ευρύ φάσμα δυνατοτήτων και είναι διαθέσιμοι σε διαφορετικές εκδόσεις. Ορισμένοι από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι ATMEL, Microchip, TI, Freescale, Philips και Motorola.

Σε αντίθεση με τον μικροελεγκτή, ο μικροεπεξεργαστής είναι ένα ενσωματωμένο κύκλωμα το οποίο περιέχει μόνο τον επεξεργαστή στο εσωτερικό του, δηλαδή κατέχει μόνο επεξεργαστικές δυνατότητες, όπως οι Intel Pentium 1,2,3,4, Core 2 Duo, i3, i5 κ.λπ. [11]. Οι συγκεκριμένοι μικροεπεξεργαστές δεν διαθέτουν μνήμη RAM, ROM και άλλα περιφερειακά μέσα στο chip τους, με συνέπεια ο σχεδιαστής του συστήματος να οφείλει να τα προσθέσει ο ίδιος εξωτερικά, ώστε να γίνουν λειτουργικοί. Οι μικροεπεξεργαστές βρίσκουν εφαρμογή εκεί όπου δεν υπάρχουν συγκεκριμένα καθήκοντα, όπως στην ανάπτυξη λογισμικού, παιχνιδιών, ιστοσελίδων, στην επεξεργασία φωτογραφιών, στη δημιουργία εγγράφων κ.λπ. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές, η σχέση μεταξύ εισόδου και εξόδου δεν είναι το πρωταρχικό μέλημα ενώ τέτοιες εφαρμογές χρειάζονται υψηλές υπολογιστικές δυνατότητες, μεγαλύτερη μνήμη RAM, ROM, περισσότερες θύρες I/O κ.λπ. Η ταχύτητα ρολογιού του μικροεπεξεργαστή είναι αρκετά υψηλή σε σχέση με αυτή του μικροελεγκτή. Όταν δηλαδή οι μικροελεγκτές λειτουργούν σε συχνότητες από μερικά KHz έως και 50 MHz, οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές λειτουργούν σε πάνω από 1GHz, δεδομένου ότι εκτελούν πολυπλοκότερες διεργασίες. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές μεταξύ ενός μικροελεγκτή και ενός μικροεπεξεργαστή.

Μικροελεγκτής	Μικροεπεξεργαστής
Ο CPU βρίσκεται στο ίδιο chip με τις RAM, ROM, I/O και Timer	Ο CPU δεν βρίσκεται στο ίδιο chip με τις RAM, ROM, I/O και Timer
Συγκεκριμένη ποσότητα μνήμης RAM, ROM και I/O θυρών	Ο σχεδιαστής αποφασίζει για τα μεγέθη των μνημών RAM, ROM και I/O θυρών
Μη επεκτασιμότητα	Επεκτασιμότητα
Κατάλληλο για εφαρμογές πραγματικού χρόνου	Μικρότερη καταλληλότητα για εφαρμογές πραγματικού χρόνου
Για ειδικού σκοπού εφαρμογές	Για γενικού σκοπού εφαρμογές
Χαμηλό κόστος, ενεργειακή κατανάλωση και μικρές διαστάσεις	Υψηλό κόστος, ενεργειακή κατανάλωση και μεγάλες διαστάσεις
Χαμηλή επεξεργαστική ικανότητα	Υψηλή επεξεργαστική ικανότητα

Πίνακας 3.1. Συγκριτικός πίνακας Μικροελεγκτή και Μικροεπεξεργαστή [12].

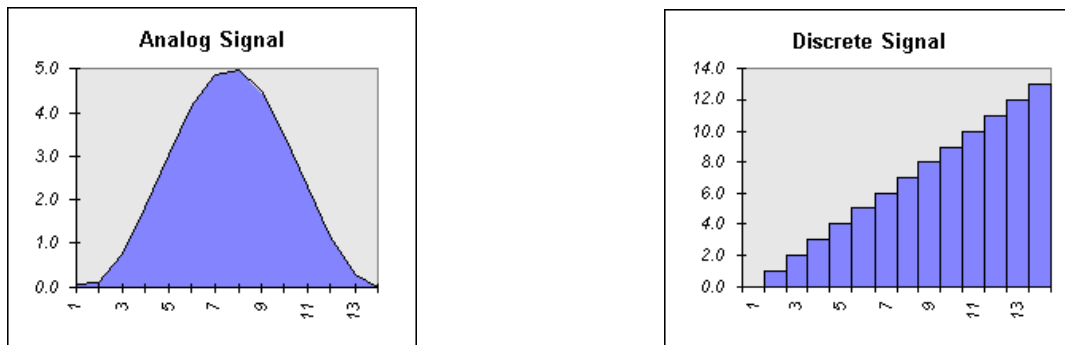
3.3 Αναλογικοί και ψηφιακοί αισθητήρες

Ο ρόλος των ηλεκτρονικών αισθητήρων είναι η μετάφραση των αλλαγών μιας φυσικής παραμέτρου σε τιμές που ο υπολογιστής πχ σε ένα ρομπότ μπορεί να καταλάβει και να χρησιμοποιήσει [13]. Η μετάφραση αυτή παράγει μια τιμή εξόδου την οποία ένας μικροελεγκτής ή μικροεπεξεργαστής μπορεί να χρησιμοποιήσει. Γενικά, οι περισσότεροι αισθητήρες του εμπορίου ανήκουν σε μία από τις δύο ακόλουθες κατηγορίες:

- Αναλογικοί Αισθητήρες (Analog Sensors)
- Ψηφιακοί Αισθητήρες (Digital Sensors)

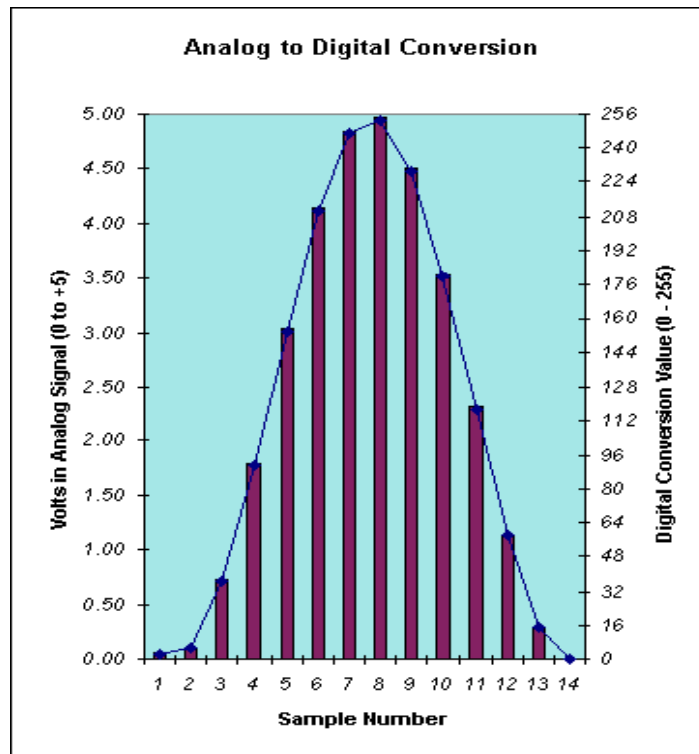
Ένας αναλογικός αισθητήρας θα μπορούσε να είναι συνδεδεμένος σε ένα κύκλωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να δίνει μία τιμή εξόδου που να κυμαίνεται από 0 έως 5Volt και να λαμβάνει κάθε πιθανή τιμή μεταξύ αυτού του εύρους [13]. Ένα τέτοιο σήμα εξόδου χαρακτηρίζεται ως ένα «Αναλογικό Σήμα» και φαίνεται στην Εικόνα 3.1. Ένας ενδιαφέρων τρόπος για να ερμηνεύσουμε το τι είναι ένα αναλογικό σήμα είναι να σκεφτούμε πως λειτουργεί ο δέκτης ενός παλαιότερου ραδιοφώνου. Μπορούμε να τον στρέψουμε προς τα πάνω ή προς τα κάτω σε μια συνεχή κίνηση καθώς επίσης και να τον ρυθμίσουμε με ακρίβεια στρέφοντας ελαφρά το κουμπί του.

Από την άλλη μεριά, οι ψηφιακοί αισθητήρες παράγουν ένα σήμα το οποίο ονομάζεται «Διακριτό Σήμα» και φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα [13]. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένα εύρος τιμών που ο αισθητήρας μπορεί να εξάγει αλλά οι τιμές αυτές της εξόδου του αυξάνονται βηματικά. Δηλαδή, υπάρχει γνωστή σχέση μεταξύ οποιασδήποτε τρέχουσας τιμής και των τιμών πριν και μετά απ' αυτή. Τα διακριτά σήματα έχουν συνήθως μια εμφάνιση σκαλοπατιών όταν απεικονίζονται γραφικά σε ένα διάγραμμα. Κατά αντιστοιχία με τα παραπάνω μπορούμε να σκεφτούμε ένα δέκτη τηλεόρασης, ο οποίος μας επιτρέπει να αλλάζουμε κανάλια με βήματα.



Εικόνα 3.1. Διαγράμματα Αναλογικών και Διακριτών Σημάτων [13].

Η διάκριση μεταξύ αναλογικού και ψηφιακού είναι σημαντική όταν πρέπει να αποφασιστεί ποιο είδος αισθητήρων θα χρησιμοποιηθεί [13]. Μέρος της απόφασης αυτής εξαρτάται από τον τύπο των διαθέσιμων πόρων που υπάρχουν σε ένα μικροελεγκτή. Οι μικροελεγκτές σχεδόν πάντα ασχολούνται με διακριτές τιμές. Για να χρησιμοποιηθεί ένα αναλογικό σήμα, είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα αυτό να μετατραπεί σε διακριτό. Αυτό επιτρέπει στον μικροελεγκτή να κάνει πράγματα όπως να υπολογίζει τιμές και να κάνει συγκρίσεις. Ευτυχώς, οι περισσότεροι σύγχρονοι ελεγκτές έχουν ένα μέσο το οποίο ονομάζεται μετατροπέας Αναλογικού σε Ψηφιακό (A/D converter). Η λειτουργία του μετατροπέα A/D είναι να μετατρέπει ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακές τιμές. Αυτό επιτυγχάνεται με τη λειτουργία αντιστοίχισης που αποδίδει διακριτές τιμές σε όλο το φάσμα των τάσεων. Ένα τέτοιο τυπικό φάσμα ενός μετατροπέα A/D είναι από 0 σε 5Volt. Πιο συγκεκριμένα, ένας μετατροπέας A/D διαιρεί το εύρος των τιμών με τον αριθμό των διακριτών συνδυασμών. Για παράδειγμα, έστω ότι το εύρος ενός αναλογικού σήματος είναι από 0 έως 5Volt και ο μετατροπέας είναι 8-bit, γεγονός που σημαίνει ότι έχει $2^8=256$ διακριτές τιμές. Ως εκ τούτου, ο μετατροπέας διαιρεί τα 5Volt σε 256 τιμές για να δώσει περίπου 0,0195Volt ανά βήμα. Το ακόλουθο διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα των A/D μετατροπών για 14 δείγματα.



Εικόνα 3.2. Διάγραμμα αποτελεσμάτων των A/D μετατροπών για 14 δείγματα [13].

3.4 Σειριακή επικοινωνία

Τα ενσωματωμένα ηλεκτρονικά είναι συνυφασμένα με τη διασύνδεση κυκλωμάτων (επεξεργαστές ή άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα) με σκοπό τη δημιουργία ενός ενοποιημένου συστήματος [14]. Για να μπορέσουν όμως τα επιμέρους κυκλώματα να ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους, οφείλουν να μοιράζονται ένα κοινό πρωτόκολλο επικοινωνίας. Εκατοντάδες πρωτόκολλα επικοινωνίας έχουν οριστεί για την επίτευξη αυτής της ανταλλαγής δεδομένων και εντάσσονται σε δύο ευρύτερες κατηγορίες, στα πρωτόκολλα παράλληλης επικοινωνίας και σε αυτά σειριακής επικοινωνίας.

Οι παράλληλες διασυνδέσεις μεταφέρουν πολλαπλά bits ταυτόχρονα [14]. Συνήθως απαιτούν διάυλους μετάδοσης δεδομένων σε οκτώ, δεκαέξι ή περισσότερα καλώδια τα οποία μεταφέρουν λογικές τιμές 1 (δηλαδή υψηλής τάσης) και 0. Αντίθετα, οι σειριακές διασυνδέσεις στέλνουν τα δεδομένα τους κατά ένα και μόνο bit κάθε στιγμή και απαιτούν συνήθως το πολύ τέσσερα καλώδια. Η

παράλληλη επικοινωνία είναι γρήγορη, απλή και σχετικά εύκολη στην εφαρμογή της, όμως απαιτεί πολλαπλές γραμμές εισόδου/εξόδου (I/O). Για το λόγο αυτό όταν οι γραμμές I/O σε ένα μικροεπεξεργαστή είναι πολύτιμες και λίγες, επιλέγεται η σειριακή επικοινωνία, θυσιάζοντας έτσι την υψηλή ταχύτητα της παράλληλης επικοινωνίας με σκοπό την εξοικονόμηση γραμμών I/O.

Στο πέρασμα των χρόνων δεκάδες πρωτόκολλα σειριακής επικοινωνίας έχουν οριστεί ώστε να ανταποκρίνονται στις ιδιαίτερες ανάγκες των ενσωματωμένων συστημάτων [14]. Κάθε ένα από αυτά μπορεί να ταξινομηθεί σε μία από τις δύο ευρύτερες κατηγορίες σειριακής επικοινωνίας, στη σύγχρονη ή στην ασύγχρονη.

Μια σύγχρονη σειριακή διασύνδεση πάντα συντονίζει τη γραμμή(ες) δεδομένων της με ένα σήμα ρολογιού ώστε όλες οι συσκευές ενός σύγχρονου σειριακού διαύλου να μοιράζονται ένα κοινό ρολόι [14]. Αυτό κάνει πιο απλή, συχνά πιο γρήγορη τη σειριακή μεταφορά, αλλά απαιτεί επίσης τουλάχιστον ένα επιπλέον καλώδιο μεταξύ των συσκευών επικοινωνίας. Παραδείγματα σύγχρονων διασυνδέσεων αποτελούν οι SPI και I²C διασυνδέσεις.

Από την άλλη μεριά, η ασύγχρονη σειριακή διασύνδεση μεταφέρει τα δεδομένα χωρίς τη χρήση εξωτερικού ρολογιού [14]. Η συγκεκριμένη μέθοδος μετάδοσης είναι ιδανική για την ελαχιστοποίηση των απαιτούμενων καλωδίων και I/O γραμμών, όμως αυτό σημαίνει ότι πρέπει να εφαρμοστεί μια επιπλέον προσπάθεια για την αξιόπιστη μεταφορά και λήψη δεδομένων. Το ασύγχρονο σειριακό πρωτόκολλο χρησιμοποιείται ευρέως στα ενσωματωμένα ηλεκτρονικά που απαιτούν τη χρήση GPS, Bluetooth, XBee μονάδων, σειριακών οθόνων LCD ή άλλων εξωτερικών συσκευών.

Το ασύγχρονο σειριακό πρωτόκολλο έχει μία σειρά από ενσωματωμένους κανόνες και μηχανισμούς που διασφαλίζουν την ισχυρή και χωρίς λάθη μεταφορά δεδομένων [14]. Οι μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για την αποφυγή του εξωτερικού σήματος ρολογιού είναι:

- τα Data bits
- τα Synchronization bits

- το Parity bit
- και το Baud Rate.

Για τη σωστή μεταφορά δεδομένων απαιτείται η διασφάλιση ότι και οι δύο συσκευές οι οποίες επικοινωνούν μέσω ενός σειριακού διαύλου πρέπει να έχουν ρυθμιστεί έτσι ώστε να χρησιμοποιούν τους ίδιους ακριβώς μηχανισμούς.

Η τιμή του Baud Rate καθορίζει το πόσο γρήγορα αποστέλλονται τα δεδομένα μέσω μιας σειριακής γραμμής και συνήθως εκφράζεται σε μονάδες bits ανά δευτερόλεπτο (bps) [14]. Όσο ψηλότερη είναι η τιμή του Baud Rate, τόσο πιο γρήγορα τα δεδομένα αποστέλλονται/παραλαμβάνονται, όμως υπάρχουν όρια για το πόσο γρήγορα τα δεδομένα μπορούν να μεταφερθούν. Δηλαδή, για πολύ υψηλές τιμές αρχίζουν να εμφανίζονται σφάλματα κατά τη μεταφορά, διότι τα ρολόγια και οι περίοδοι δειγματοληψίας δεν συμβαδίζουν.

Η πραγματική ουσία κάθε σειριακού πακέτου είναι τα δεδομένα που μεταφέρει [14]. Η ποσότητα των δεδομένων σε κάθε πακέτο μπορεί να ρυθμιστεί από 5 μέχρι 9 bits. Το πρότυπο μέγεθος των δεδομένων είναι το βασικό 8-bit, αλλά και άλλα μεγέθη μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Ένα κομμάτι δεδομένων 7-bit μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικό από εκείνο των 8-bit, ειδικά αν απλά μεταφέρονται 7-bit ASCII χαρακτήρες.

Τα bits συγχρονισμού (Synchronization bits) είναι δύο ή τρία ειδικά bit που μεταφέρονται με κάθε κομμάτι δεδομένων [14]. Πρόκειται για το start bit και το stop bit(s). Όπως μαρτυρά και το όνομά τους, τα συγκεκριμένα bits σηματοδοτούν την αρχή και το τέλος ενός πακέτου. Υπάρχει πάντα μόνο ένα bit έναρξης, αλλά ο αριθμός των stop bits μπορεί να είναι είτε ένα είτε δύο (αν και συνήθως αφήνεται σε ένα).

Το bit ισοτιμίας (Parity bit) χρησιμοποιείται για χαμηλού επιπέδου ελέγχους σφαλμάτων και ρυθμίζεται είτε ως περιττό είτε ως άρτιο [14]. Για την παραγωγή του Parity bit, προστίθενται όλα τα bits του κομματιού των δεδομένων, και ανάλογα με το αν το αποτέλεσμα είναι περιττός ή άρτιος αριθμός το bit λαμβάνει την ανάλογη τιμή. Για παράδειγμα, εάν τεθεί άρτια ισοτιμία, τότε προσθέτοντας τα

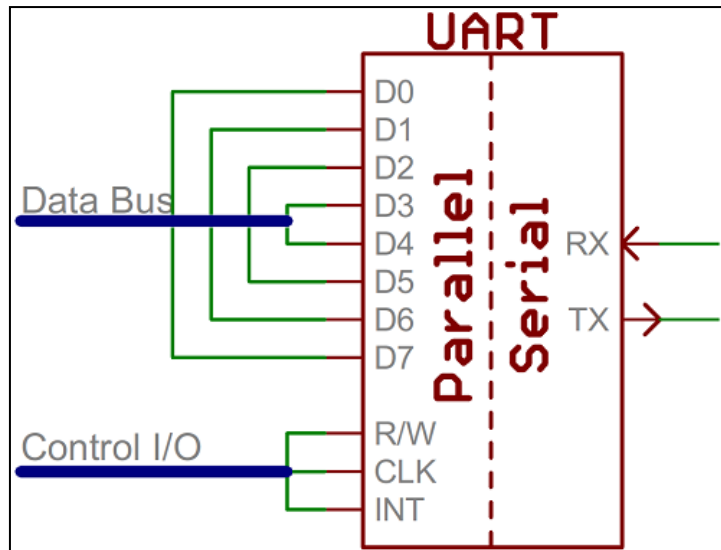
bits ενός byte δεδομένων όπως το 0b01011101, των οποίων το άθροισμα προκύπτει περιττός αριθμός (δηλ. 5), το bit ισοτιμίας θα οριστεί σε 1. Αντίστροφα, εάν θεωρούνταν ότι η ισοτιμία ήταν περιττή το bit ισοτιμίας για το συγκεκριμένο παράδειγμα θα ήταν 0. Το Parity bit είναι προαιρετικό, όχι πολύ διαδεδομένο και μπορεί να φανεί χρήσιμο στη μετάδοση δεδομένων σε θορυβώδη μέσα. Όμως, η χρήση του επιβραδύνει τη μεταφορά των δεδομένων, διότι απαιτεί τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης να εφαρμόσουν ελέγχους σφαλμάτων (λανθασμένα δεδομένα στέλνονται εκ νέου).

Κάθε μπλοκ (συνήθως ένα byte) δεδομένων που διαβιβάζεται στην πραγματικότητα στέλνεται σε ένα πακέτο ή πλαίσιο από bits [14]. Τα πλαίσια αυτά δημιουργούνται προσαρτώντας τα Synchronization bits και τα Parity bits στο μπλοκ των δεδομένων, όπως φαίνεται ακολούθως.



Εικόνα 3.3. Δομή ενός πακέτου δεδομένων ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας [14].

Το τελικό κομμάτι στην ανάλυση της σειριακής επικοινωνίας είναι να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να δημιουργούμε τα σειριακά πακέτα και παράλληλα να ελέγχουμε τις φυσικές διεπαφές [14]. Το κύκλωμα UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) είναι υπεύθυνο για την εφαρμογή σειριακής επικοινωνίας. Ουσιαστικά, το UART ενεργεί ως μεσάζων μεταξύ των παράλληλων και των σειριακών διεπαφών. Το ένα άκρο του UART είναι ένας δίαυλος ο οποίος αποτελείται από οκτώ γραμμές δεδομένων (συν κάποιες γραμμές ελέγχου) και το άλλο άκρο του είναι δύο σειριακές διεπαφές, οι RX και TX.



Εικόνα 3.4. Απλοποιημένη διεπαφή UART. Παράλληλη στο ένα άκρο και σειριακή στο άλλο [14].

Τα UARTs μπορούμε να τα βρούμε και σε ολοκληρωμένα κυκλώματα ICs, αλλά συχνότερα τα βρίσκουμε στο εσωτερικό των μικροελεγκτών [14]. Όπως τα RX και TX ακρωνύμια δείχνουν, τα UARTs είναι υπεύθυνα τόσο για την αποστολή όσο και τη λήψη σειριακών δεδομένων. Από την πλευρά της εκπομπής, ένα UART πρέπει να δημιουργήσει το πακέτο δεδομένων και να το στείλει από τη γραμμή TX μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (σύμφωνα με το επιλεγμένο Baud Rate). Για τη λήψη δεδομένων, το UART πρέπει να δειγματοληπτεί τη γραμμή RX με το ίδιο Baud Rate με αυτό του αποστολέα, ώστε να ξεχωρίσει τα Synchronization και Parity bits από τα δεδομένα.

Άλλα, πιο προχωρημένα, UARTs έχουν τη δυνατότητα να αποθηκεύουν προσωρινά τα δεδομένα τους σε ένα buffer, όπου μπορούν να παραμείνουν εκεί μέχρι να τα ζητήσει ο μικροελεγκτής [14]. Τα UARTs συνήθως απελευθερώνουν τα αποθηκευμένα δεδομένα τους με μια first-in-first-out (FIFO) ουρά. Η χωρητικότητα των buffers ξεκινά από μερικά bits και μπορεί να φτάσει έως και χιλιάδες bytes.

3.5 Ενσωματωμένα συστήματα

Ένα ενσωματωμένο σύστημα είναι ένα υπολογιστικό σύστημα με μια ειδική λειτουργία μέσα σε ένα ευρύτερο μηχανικό ή ηλεκτρικό σύστημα [15]. Είναι ενσωματωμένο ως τμήμα μιας πλήρους διάταξης συχνά συμπεριλαμβάνοντας hardware υλικό και μηχανικά μέρη. Τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχουν πολλές συσκευές που χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα.

Ιδιότητες που χαρακτηρίζουν τους ενσωματωμένους υπολογιστές, σε σύγκριση με αυτούς γενικής χρήσης είναι πχ η χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, το μικρό μέγεθος, η στιβαρή κατασκευή και το χαμηλό κόστος [15]. Από την άλλη μεριά όμως έχουν περιορισμένους πόρους επεξεργασίας, γεγονός που τους καθιστά πολύ πιο δύσκολους στον προγραμματισμό τους και στη διασύνδεσή τους. Ωστόσο, με τη δημιουργία μηχανισμών νοημοσύνης στην κορυφή του hardware, με την αξιοποίηση πιθανών προεγκατεστημένων αισθητήρων και την ύπαρξη ενός δικτύου ενσωματωμένων μονάδων, μπορεί κανείς να διαχειριστεί βέλτιστα τους διαθέσιμους πόρους σε επίπεδο μονάδας και δικτύου καθώς και να αυξήσει τις λειτουργίες πέρα από αυτές που είναι διαθέσιμες. Για παράδειγμα, η σχεδίαση ευφυών τεχνικών για τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας των ενσωματωμένων συστημάτων.

Τα σύγχρονα ενσωματωμένα συστήματα συχνά βασίζονται σε μικροελεγκτές (πχ επεξεργαστές με ενσωματωμένη μνήμη ή περιφερειακές διασυνδέσεις) αλλά και σε απλούς μικροεπεξεργαστές (χρήση εξωτερικών chip μνήμης και κυκλωμάτων περιφερειακής διασύνδεσης), ειδικά σε πιο πολύπλοκα συστήματα [15]. Σε κάθε περίπτωση όμως, ο επεξεργαστής που χρησιμοποιείται μπορεί να κυμαίνεται από τύπους γενικού σκοπού ως και τύπους που ειδικεύονται σε συγκεκριμένες κατηγορίες υπολογισμών, καθώς ακόμα και ειδικά σχεδιασμένους για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Ένα κοινό πρότυπο κατηγορίας επεξεργαστών αποκλειστικής χρήσης είναι ο επεξεργαστής ψηφιακού σήματος (DSP).

Εφόσον το ενσωματωμένο σύστημα αξιοποιείται σε συγκεκριμένες εφαρμογές, οι σχεδιαστές μηχανικοί μπορούν να το βελτιστοποιήσουν με σκοπό τη μείωση του μεγέθους και του κόστους του προϊόντος και την αύξηση της αξιοπιστίας και της απόδοσής του [15]. Ορισμένα ενσωματωμένα συστήματα παράγονται μαζικά, με συνέπεια τη μείωση του κόστους τους.







Οι εφαρμογές των ενσωματωμένων συστημάτων μπορούν να κυμαίνονται από φορητές συσκευές, όπως ψηφιακά ρολόγια και MP3 players, ως και μεγάλες εγκαταστάσεις όπως φωτεινοί σηματοδότες, εργοστασιακοί ελεγκτές καθώς και συστήματα μεγάλου βαθμού πολυπλοκότητας, όπως υβριδικά οχήματα, MRI και ηλεκτρονικά συστήματα αεροπλάνων [15]. Η πολυπλοκότητα μπορεί να κυμαίνεται από χαμηλή, με ένα μόνο chip μικροελεγκτή, ως και πολύ υψηλή με πολλαπλές μονάδες, περιφερειακά και δικτυώματα τοποθετημένα μέσα σε ένα μεγάλο περίβλημα.

3.6 Μετρούμενες φυσικές παράμετροι

Στην Ενότητα 1.3 παρουσιάστηκαν τρία παγκοσμίως εγκεκριμένα συστήματα ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών, των οποίων η δομή και η αρχιτεκτονική διαφέρουν λόγω των ιδιοτήτων του χώρου εφαρμογής τους. Ένα από τα κύρια κοινά συστατικά όμως των συστημάτων αυτών είναι οι μετρούμενες φυσικές παράμετροι, χάρη στις οποίες εντοπίζουν την ύπαρξη πυρκαγιών. Οι τέσσερις κοινές μετρούμενες περιβαλλοντικές παράμετροι είναι η θερμοκρασία (temperature), η σχετική υγρασία (relative humidity), η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα (CO) και η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Εάν η τιμή μιας εκ των παραμέτρων υπερβεί ένα προκαθορισμένο όριο, τότε τα συστήματα αντιδρούν με την αποστολή συναγερμού στις πυροσβεστικές υπηρεσίες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χαμηλού κόστους, through-hole και μεγάλης ακρίβειας αισθητήρων που υπάρχουν στο εμπόριο και μετρούν τις παραπάνω



περιβαλλοντικές παραμέτρους παρουσιάζονται στους ακόλουθους συγκριτικούς πίνακες.



- **Αισθητήρες Θερμοκρασίας (Temperature)**

Product Name	Icon	Company	Supply Voltage Range	Supply Current	Operation Temp Range °C	Accuracy	Output Type	Sensor Output
HYT 271		Hygrochip	2.7 to 5.5V	<22μA	-40 to +125	±0.2°C	Digital	I ² C
LM35		Texas Instruments	4 to 30V	<60μA	-55 to +150	±0.5°C	Analog	+10 mV/°C
HIH8121		Honeywell	2.3 to 5.5V	<1mA	-40 to +125	±0.5°C	Digital	I ² C
DHT22		Aosong Electronics	3.3 to 5.5V	<500μA	-40 to +80	±1°C	Digital	Single-bus data
MCP9700A		Microchip	2.3 to 5.5V	<12μA	-40 to +150	±2°C	Analog	+10 mV/°C
TMP36		Analog Devices	2.7 to 5.5V	<50μA	-40 to +125	±2°C	Analog	+10 mV/°C

Πίνακας 3.2. Συγκριτικός πίνακας Αισθητήρων Θερμοκρασίας (Temperature).




- **Αισθητήρες Σχετικής Υγρασίας (Relative Humidity)**

Product Name	Icon	Company	Supply Voltage Range	Supply Current	Operation Temp Range °C	Range / Accuracy	Output Type	Sensor Output
HYT 271		Hygrochip	2.7 to 5.5V	<22μA	-40 to +125	0-100% RH / ±1.8%	Digital	I ² C
HIH8121		Honeywell	2.3 to 5.5V	<1mA	-40 to +125	10-90% RH / ±2%	Digital	I ² C

DHT22		Aosong Electronics	3.3 to 5.5V	<500μA	-40 to +80	0-99%RH / ±2%	Digital	Single-bus data
808H5V5		Sencera	5V ±5%	<0.5mA	-40 to +85	0-100% RH / ±4%	Analog	datasheet



Πίνακας 3.3. Συγκριτικός πίνακας Αισθητήρων Σχετικής Υγρασίας (Relative Humidity).

- **Αισθητήρες Μονοξειδίου του Άνθρακα (CO)**

Product Name	Icon	Company	Supply Voltage Range	Supply Current	Operation Temp Range °C	Range	Output Type	Sensor Output
MQ-7		Hanwei Electronics	4.9 to 5.1V	70mA	-20 to +50	20-2000 ppm CO	Analog	datasheet
MQ-2		Hanwei Electronics	4.9 to 5.1V	160mA	-20 to +50	20-2000 ppm CO	Analog	datasheet
TGS 2442		Figaro USA	4.8 to 5.2V	203mA	-10 to +50	30-1000 ppm CO	Analog	datasheet

Πίνακας 3.4. Συγκριτικός πίνακας Αισθητήρων Μονοξειδίου του Άνθρακα (CO).

- **Αισθητήρες Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂)**





Product Name	Icon	Company	Supply Voltage Range	Supply Current	Operation Temp Range °C	Range	Output Type	Sensor Output
MG-811		Hanwei Electronics	5.9 to 6.1V	200mA	-20 to +50	350-10000 ppm CO ₂	Analog	datasheet
TGS 4161		Figaro USA	4.8 to 5.2V	50mA	-10 to +50	350-10000 ppm CO ₂	Analog	datasheet





Πίνακας 3.5. Συγκριτικός πίνακας Αισθητήρων Διοξειδίου του Άνθρακα (CO₂).

3.7 XBee modules

3.7.1 Εισαγωγή

Δεδομένου ότι θα χρησιμοποιηθεί το πρότυπο ZigBee, ως πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας του δικτύου το οποίο θα υλοποιηθεί, θα παρουσιαστούν αρχικά σε ένα συγκριτικό πίνακα οι ολοκληρωμένες λύσεις που προσφέρει η εταιρία Digi International και στο 5^ο Κεφάλαιο θα επιλεγούν οι κατάλληλες λύσεις για την εφαρμογή που θα γίνει στο πλαίσιο της εργασίας αυτής. Επιλέγεται η εταιρεία Digi διότι προσφέρει προσιτές, χαμηλού κόστους, εύκολες στη ρύθμιση και μεγάλης εμβέλειας single board λύσεις οι οποίες περιλαμβάνουν I/O θύρες καθώς και δυνατότητα UART επικοινωνίας. Στον ακόλουθο πίνακα σκόπιμα και για λόγους γενίκευσης σε άλλες εφαρμογές, εστιάζουμε στα Series 2 και 2B modules συχνότητας 2.4GHz, data rate 250kbps και πρωτοκόλλου ZigBee Mesh της συγκεκριμένης εταιρίας καθώς προσφέρουν επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, εφαρμογή σε όλες τις τοπολογίες και υποστηρίζουν AT και API εντολές, έναντι των Series 1 modules που χρησιμοποιούνται για point-to-point επικοινωνία [16].

Product Name	Icon	Range	Max Power Consumption	I/O Pins	Antenna
XBee 2mW PCB Antenna - Series 2		122m	40mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none">• 6 10-bit ADC input pins• 8 digital IO pins	PCB
XBee 2mW RPSMA - Series 2		122m	40mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none">• 6 10-bit ADC input pins• 8 digital IO pins	Ext./Not Included
XBee 2mW U.FL Connection - Series 2		122m	40mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none">• 6 10-bit ADC input pins• 8 digital IO pins	Ext./Not Included
XBee 2mW Wire Antenna - Series 2		122m	40mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none">• 6 10-bit ADC input pins• 8 digital IO pins	Wire

XBee Pro 63mW PCB Antenna - Series 2B		1610m	295mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none"> • 6 10-bit ADC input pins • 8 digital IO pins 	PCB
XBee Pro 63mW RPSMA - Series 2B		1610m	295mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none"> • 6 10-bit ADC input pins • 8 digital IO pins 	Ext./Not Included
XBee Pro 50mW U.FL Connection - Series 2		1610m	295mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none"> • 6 10-bit ADC input pins • 8 digital IO pins 	Ext./Not Included
XBee Pro 63mW Wire Antenna - Series 2B		1610m	295mA @ 3.3V	<ul style="list-style-type: none"> • 6 10-bit ADC input pins • 8 digital IO pins 	Wire

Πίνακας 3.6. Συγκριτικός πίνακας Series 2 και 2B οικογενειών XBee modules [16].

3.7.2 Πρωτόκολλα σειριακής διασύνδεσης

Το πρωτόκολλο σειριακής διασύνδεσης ορίζει μια τεχνική πρόσβασης για τις επικοινωνίες μέσω σειριακού διαύλου [17]. Το XBee ορίζει δύο τρόπους, την Transparent (AT) και την API λειτουργία.

Κατά την διαφανή (Transparent) λειτουργία, οι μονάδες λειτουργούν ως αντικαταστάτες της σειριακής γραμμής [17]. Όλα τα UART δεδομένα λαμβάνονται μέσω του ακροδέκτη DIN και αναμένουν την RF μετάδοσή τους. Όταν λαμβάνονται RF δεδομένα, τα δεδομένα αυτά αποστέλλονται μέσω του ακροδέκτη DOUT στη UART συσκευή στην οποία είναι συνδεδεμένος ο συγκεκριμένος ακροδέκτης. Στη συγκεκριμένη λειτουργία οι παράμετροι της μονάδας ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας AT εντολές. Η λειτουργία αυτή προορίζεται κυρίως για point-to-point επικοινωνία καθώς και για την αντικατάσταση ενός σειριακού καλωδίου σύνδεσης διότι αποτελεί την απλούστερη δυνατή διαμόρφωση και δεν απαιτεί καμία περαιτέρω ρύθμιση. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά είναι:

- Όλα τα ληφθέντα σειριακά δεδομένα μεταδίδονται εκτός αν η μονάδα είναι σε λειτουργία εντολών.

- Είναι πιο εύκολο για μια εφαρμογή να υποστηρίξει την διαφανή λειτουργία και την λειτουργία εντολών.

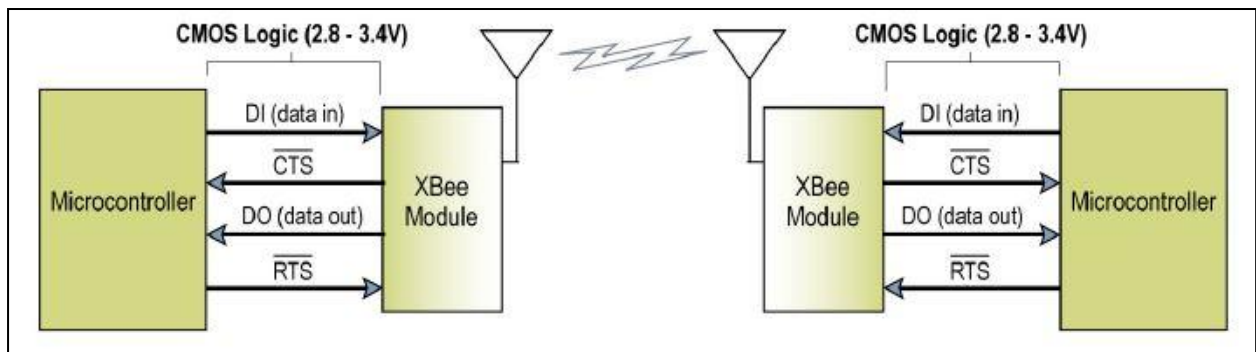
Η API λειτουργία αποτελεί μια εναλλακτική λύση της διαφανούς λειτουργίας [17]. Επεκτείνει το επίπεδο στο οποίο μια εφαρμογή μπορεί να αλληλεπιδράσει με τις δυνατότητες δικτύωσης της μονάδας. Στη συγκεκριμένη λειτουργία, όλα τα δεδομένα που εισέρχονται και εξέρχονται από την μονάδα περιέχονται σε πλαίσια που ορίζουν πράξεις ή γεγονότα εντός της μονάδας. Η API λειτουργία δίνει στον προγραμματιστή τη δυνατότητα να αλλάζει παραμέτρους χωρίς να χρειαστεί να εισέλθει στην λειτουργία εντολών, να βλέπει το RSSI και την διεύθυνση πηγής σε ένα πακέτο και να λαμβάνει επιβεβαίωση παράδοσης πακέτων σε κάθε μεταδιδόμενο πακέτο. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά είναι:

- Η μετάδοση δεδομένων σε πολλαπλές RF μονάδες απαιτεί μόνο την αλλαγή της διεύθυνσης στο API πλαίσιο (frame). Η διαδικασία αυτή είναι ταχύτερη από την διαφανή λειτουργία στην οποία η εφαρμογή πρέπει να εισέλθει στην AT κατάσταση εντολών, να αλλάξει τη διεύθυνση, να εξέλθει από τη κατάσταση εντολών και στη συνέχεια να διαβιβάσει τα δεδομένα. Κάθε API μετάδοση μπορεί να επιστρέφει ένα πλαίσιο κατάστασης μετάδοσης το οποίο είτε δείχνει την επιτυχία είτε την αιτία της αποτυχίας μετάδοσης του RF πακέτου.
- Όλα τα εισερχόμενα RF δεδομένα ενός API πλαισίου αναφέρουν την διεύθυνση πηγής.
- Τα API πλαίσια τα οποία εκπέμπονται ή λαμβάνονται μπορούν να εκθέτουν πεδία διευθύνσεων όπως αυτά της πηγής, των τελικών σημείων προορισμού, τα αναγνωριστικά ID του πλέγματος και του προφίλ. Αυτό καθιστά εύκολη την υποστήριξη εντολών ZDO και την κυκλοφορία του δημόσιου προφίλ.

- Χρησιμοποιώντας το API, οι εντολές διαμόρφωσης set/read μπορούν να σταλούν σε απομακρυσμένες συσκευές και να τις διαμορφώσουν ανάλογα με τις ανάγκες.

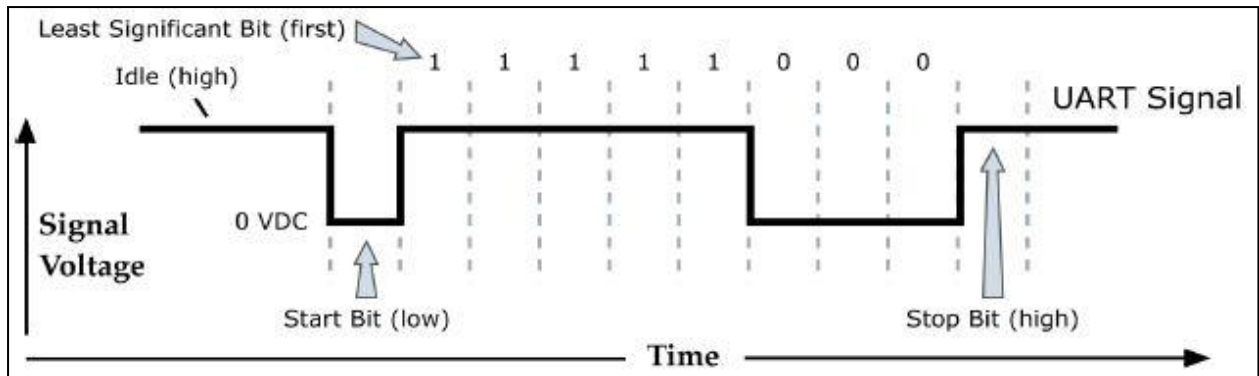
3.7.3 Σειριακή επικοινωνία

Οι RF μονάδες XBee/XBee-PRO αλληλεπιδρούν με μια συσκευή μέσω μίας ασύγχρονης σειριακής θύρας [18]. Μέσω της σειριακής θύρας αυτής, η μονάδα μπορεί να επικοινωνεί με οποιαδήποτε UART, η οποία είναι συμβατή ως προς τη λογική και την τάση, ή μέσω ενός μετατροπέα λογικών επιπέδων σε οποιαδήποτε σειριακή συσκευή (για παράδειγμα μέσω μιας Digi πλακέτας με RS-232 ή USB διεπαφή). Οι συσκευές που έχουν μια διεπαφή UART μπορούν να συνδεόνται άμεσα με τους ακροδέκτες της RF μονάδας όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3.5. Διάγραμμα ροής δεδομένων συστήματος σε UART διασυνδεδεμένο περιβάλλον [18].

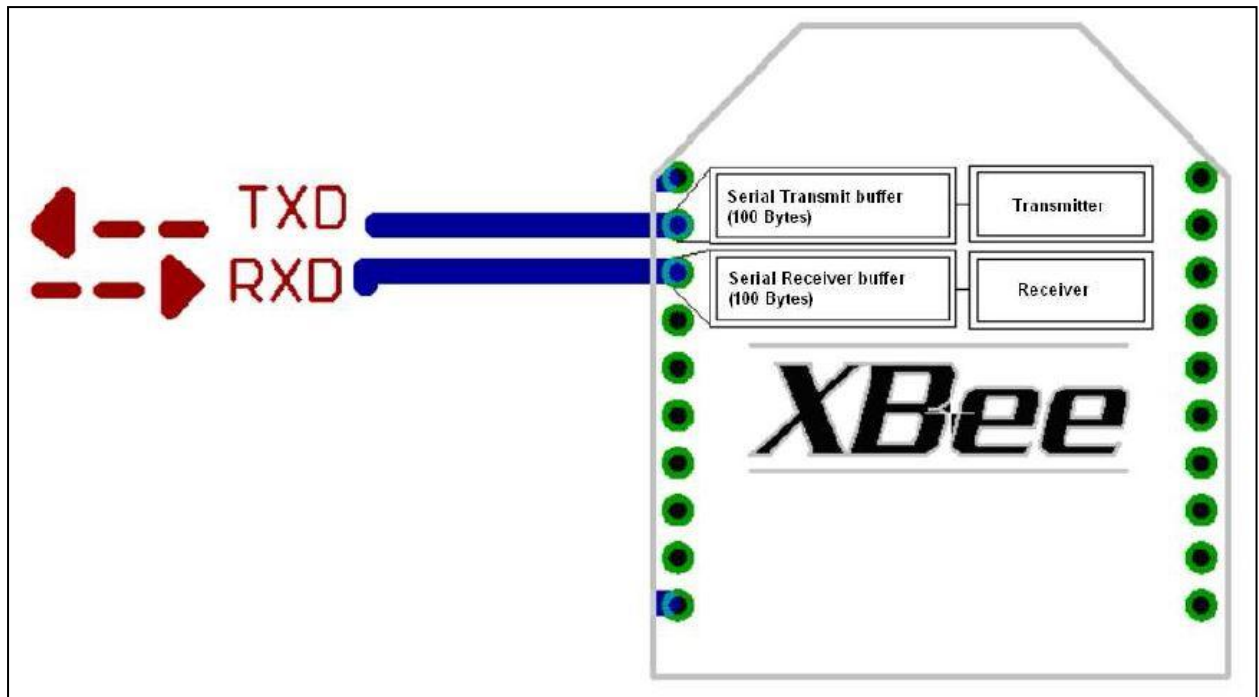
Τα δεδομένα εισέρχονται στη μονάδα UART μέσω του ακροδέκτη DI (pin 3) ως ένα ασύγχρονο σειριακό σήμα [18]. Το σήμα πρέπει να είναι μόνιμα στο υψηλό επίπεδο τάσης (high) όταν δεν γίνεται μετάδοση δεδομένων. Κάθε πλαίσιο δεδομένων αποτελείται από ένα start bit (low), 8 bits δεδομένων (πρώτα το λιγότερο σημαντικό bit) και ένα stop bit (high). Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει το σειριακό μοτίβο των bits που διέρχονται από τη μονάδα.



Εικόνα 3.6. UART πακέτο δεδομένων 0x1F (δεκαδικός αριθμός "31") όπως μεταδίδεται μέσω της RF μονάδας. Η μορφή των δεδομένων είναι 8-N-1 (data bits - parity bit - stop bits) [18].

Οι σειριακές επικοινωνίες προϋποθέτουν οι δύο συνδεδεμένες UART συσκευές (εκείνη του μικροελεγκτή και εκείνη της μονάδας RF) να έχουν διαμορφωθεί με κοινές ρυθμίσεις (baud rate, parity bit, start bit, stop bits, data bits) [18].

Οι μονάδες διατηρούν προσωρινούς καταχωρητές (buffers) για τη συλλογή των ληφθέντων σειριακών και RF δεδομένων [17]. Ο σειριακός buffer λήψης συλλέγει τους εισερχόμενους σειριακούς χαρακτήρες και τους διατηρεί έως ότου μπορέσουν να υποβληθούν σε επεξεργασία. Ο σειριακός buffer μετάδοσης συλλέγει τα RF δεδομένα τα οποία λαμβάνονται και τα μεταδίδει στη συνδεδεμένη UART συσκευή.



Εικόνα 3.7. Σειριακοί προσωρινοί καταχωρητές (buffers) [17].

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το XBee έχει buffers χωρητικότητας 100 bytes ο καθένας, γεγονός το οποίο περιορίζει την καθυστέρηση [17]. Όταν τα σειριακά δεδομένα εισέρχονται στην RF μονάδα μέσα από τον ακροδέκτη DIN (pin 3) αποθηκεύονται στο σειριακό buffer λήψης έως ότου μπορέσουν να υποβληθούν σε επεξεργασία. Υπό ορισμένες συνθήκες η μονάδα μπορεί να μην είναι σε θέση να επεξεργαστεί αμέσως τα δεδομένα στο σειριακό buffer λήψης. Όταν λαμβάνονται τα RF δεδομένα αρχικά μεταφέρονται στο σειριακό buffer μετάδοσης και στη συνέχεια στέλνονται προς τη σειριακή θύρα.

4ο Κεφάλαιο: Σχεδίαση Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία και υλοποίηση ενός αυτόνομου και ασύρματου ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης δασικών περιοχών χαμηλής κατανάλωσης. Το σύστημα αυτό έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να λειτουργήσει πιλοτικά σε ένα απλό σενάριο μιας δασικής περιοχής μικρού εμβαδού στο χώρο της Πολυτεχνειούπολης. Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται η εμφάνιση, η δομή και η λειτουργία του προς υλοποίηση δικτύου καθώς και το πρότυπο επικοινωνίας το οποίο χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των σταδίων του συστήματος.

Το σύστημα συνδέεται με κατάλληλους αισθητήρες, οι οποίοι μετρούν κρίσιμες παραμέτρους δασικών περιοχών που σχετίζονται με πυρκαγιές, συνδέεται ασύρματα με τον απομακρυσμένο σταθμό και δύναται να αποστέλλει τις πληροφορίες από τους αισθητήρες προς απεικόνιση σε δικτυακή εφαρμογή.

Σαφώς, η σχεδίαση του εν λόγω συστήματος έχει πραγματοποιηθεί έτσι ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή του και σε πιο γενικευμένα σενάρια, όπως σε περιοχές μεγαλύτερων εκτάσεων οι οποίες θα περιλαμβάνουν περισσότερους αισθητήριους κόμβους καθώς και διαφορετική τοπολογία δικτύου αισθητήριων κόμβων ανάλογα με την περίπτωση.

4.2 Δομή του συστήματος

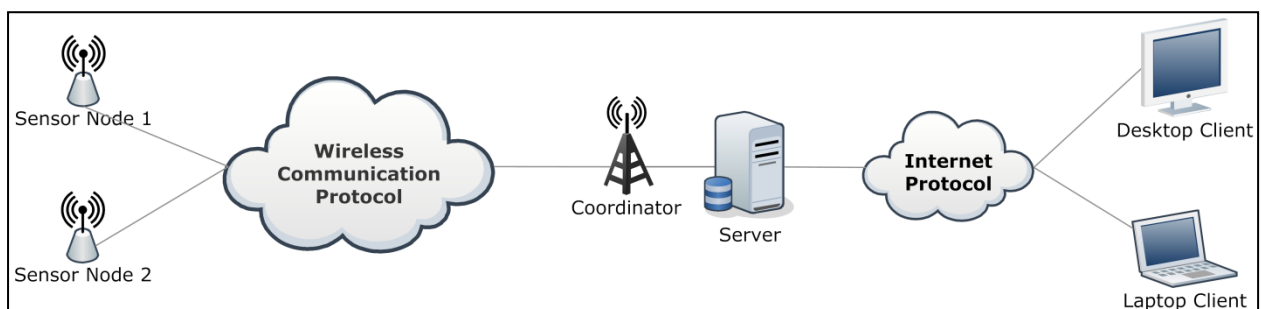
Στη γενικευμένη του μορφή το σύστημα το οποίο έχει υλοποιηθεί απαρτίζεται από τρία στάδια τα οποία παρουσιάζονται ακολούθως.

Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει την περιοχή παρακολούθησης καθώς και τους ασύρματους αισθητήριους κόμβους, οι οποίοι έχουν εγκατασταθεί στην περιοχή αυτή και αποστέλλουν τις μετρήσεις τους στο σταθμό συλλογής δεδομένων. Οι κόμβοι αυτοί ακολουθούν το πρότυπο ενός τυπικού αισθητήριου κόμβου, όπως παρουσιάστηκε στην Ενότητα 2.5. Συγκεκριμένα, αποτελούνται από μία κεραία (πομποδέκτης) χαμηλής ισχύος εκπομπής, ένα σύνολο αισθητήρων, ένα κύκλωμα τροφοδοσίας και έναν μικροελεγκτή.

Το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει το σταθμό συλλογής δεδομένων ο οποίος απαρτίζεται από τον συντονιστή (coordinator) του δικτύου και έναν υπολογιστή-εξυπηρετητή (server). Ο ρόλος του συντονιστή είναι να συντονίζει και να ελέγχει την ροή δεδομένων μεταξύ των ασύρματων αισθητήρων και του εξυπηρετητή. Ο εξυπηρετητής από την άλλη μεριά περιλαμβάνει το λογισμικό εκείνο το οποίο δίνει εντολές μέσω του συντονιστή στους αισθητήριους κόμβους, καταγράφει και αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων τις μετρήσεις τις οποίες αποστέλλουν οι κόμβοι. Επιπλέον, απαντά στα αιτήματα των πελατών (clients), οι οποίοι αφού συνδεθούν σε αυτόν ζητούν δεδομένα από τη βάση δεδομένων του και, τέλος, τους ενημερώνει αυτόματα στέλνοντάς τους τις νέες μετρήσεις από τους αισθητήριους κόμβους.

Τέλος, το τρίτο στάδιο περιλαμβάνει τους υπολογιστές των πελατών οι οποίοι μέσω κατάλληλου λογισμικού συνδέονται στον εξυπηρετητή και ζητούν κομμάτια δεδομένων από την βάση δεδομένων του. Τα δεδομένα αυτά αφού τα λάβουν οι πελάτες τα επεξεργάζεται το λογισμικό τους και τα προβάλλει μέσω κατάλληλης γραφικής διεπαφής (graphical user interface) στον χρήστη, ο οποίος στη συνέχεια μπορεί επίσης να εφαρμόζει ελέγχους πάνω σε αυτά.

Η σύζευξη μεταξύ των τριών σταδίων επιτυγχάνεται με την χρήση διαφόρων πρωτοκόλλων επικοινωνίας. Για την σύνδεση του πρώτου σταδίου με το δεύτερο αναγκαία είναι η χρήση ενός από τα ασύρματα και χαμηλής κατανάλωσης πρωτόκολλα επικοινωνίας που αναφέρθηκαν στην Ενότητα 2.4. Για την σύνδεση του δεύτερου σταδίου με το τρίτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρωτόκολλο Διαδικτύου (Internet Protocol) καθώς είναι το πιο συνηθισμένο για την απλή και γρήγορη μεταφορά μικρού όγκου δεδομένων, υποστηρίζοντας παράλληλα την διευθυνσιοδότηση των κόμβων και την δρομολόγηση των πακέτων από έναν υπολογιστή προς έναν τελικό προορισμό. Η απευθείας σύνδεση και επικοινωνία μεταξύ πρώτου και τρίτου σταδίου είναι απαγορευμένη και αυτός είναι ο λόγος ύπαρξης του δεύτερου σταδίου. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η γενικευμένη μορφή του συστήματος, περιλαμβάνοντας τα τρία στάδια που αναφέρθηκαν τα οποία χωρίζονται μέσω των δύο πρωτοκόλλων επικοινωνίας.



Εικόνα 4.1. Γενικευμένη μορφή της δομής του συστήματος.

4.3 Πρότυπο ασύρματης επικοινωνίας δικτύου αισθητήρων

Δεδομένου ότι ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία και υλοποίηση ενός ασύρματου ολοκληρωμένου συστήματος ανίχνευσης πυρκαγιών χαμηλού κόστους, χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και χαμηλού ποσοστού δεδομένων, αξιοποιείται ένα από τα πρότυπα επικοινωνίας που αναλύθηκαν στην Ενότητα 2.4.

Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται το πρότυπο επικοινωνίας ZigBee, το οποίο αξιοποιεί και το σύστημα Wasmote όπως είδαμε στην Ενότητα 1.3, διότι με βάση το σενάριο είναι η πιο φθηνή και απλή στην υλοποίηση λύση συγκριτικά με τα υπόλοιπα πρότυπα. Επιπλέον, προσφέρει επικοινωνία κόμβων σε μεγάλες αποστάσεις και τέλος δίνει τη δυνατότητα υλοποίησης ενός πρωτότυπου δικτύου χωρίς την χρήση ακριβών ολοκληρωμένων hardware λύσεων που προσφέρουν τα υπόλοιπα πρότυπα επικοινωνίας.

Σαφώς σε πιο περίπλοκα και εκτενέστερα δίκτυα, όπως για παράδειγμα τα βιομηχανικά δίκτυα αισθητήρων, το πρότυπο ZigBee είναι πιθανό να μην επαρκεί για την συγκεκριμένη εφαρμογή και να συνίσταται η χρήση ενός διαφορετικού προτύπου επικοινωνίας, όπως αυτό του WirelessHART.

4.4 Παρουσίαση λειτουργίας του συστήματος

Η καρδιά του συστήματος, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, είναι το δεύτερο στάδιο, δηλαδή ο συντονιστής με τον εξυπηρετητή. Η λειτουργία του συστήματος συντονίζεται μέσω ενός λογισμικού το οποίο εκτελείται στον εξυπηρετητή, επικοινωνεί με τους κόμβους και ταυτόχρονα εξυπηρετεί τους πελάτες.

Η επικοινωνία με τους κόμβους γίνεται με τη βοήθεια του συντονιστή. Ο συντονιστής στην πραγματικότητα δεν είναι κάποιο πρόγραμμα, παρά μια XBee κεραία (πομποδέκτης) μεγάλης ισχύος εκπομπής. Για το λόγο αυτό θα χρησιμοποιείται συχνότερα η έννοια του εξυπηρετητή από αυτή του συντονιστή κατά την αναφορά στο δεύτερο στάδιο. Η κεραία αυτή προωθεί τις εντολές του

λογισμικού του εξυπηρετητή μέσω αρχικά του πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας UART και έπειτα μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου ZigBee στους αισθητήριους κόμβους και, επίσης, λαμβάνει τις αποκρίσεις αυτών. Οι εντολές μπορούν να αποστέλλονται είτε περιοδικά είτε κατ' εντολή του χειριστή του λογισμικού. Οι κόμβοι δύνανται να βρίσκονται σε τρεις καταστάσεις:

- **Αρχική κατάσταση (initial state)** - Οι κόμβοι αποστέλλουν επαναλαμβανόμενα το ID τους στον εξυπηρετητή, προκειμένου να συνδεθούν στο δίκτυο, μέχρι τη λήψη επιβεβαίωσης σύνδεσης από αυτόν.
- **Ενεργή κατάσταση (active state)** - Ο μικροελεγκτής και οι αισθητήρες έχουν ενεργοποιηθεί για τη λήψη μετρήσεων. Μετά την παρέλευση ορισμένου χρόνου και την ολοκλήρωση της διαδικασίας λήψης των μετρήσεων στους αισθητήρες γίνεται επαναλαμβανόμενα η αποστολή τους μέχρι την επιβεβαίωση λήψης από τον εξυπηρετητή.
- **Αδρανής κατάσταση (idle state)** - Ο μικροελεγκτής "κοιμάται" αφότου έχει απενεργοποιήσει τους αισθητήρες και "ξυπνά" κατά την επόμενη λήψη εντολής από τον εξυπηρετητή.

Σε όλες τις παραπάνω καταστάσεις η κεραία του αισθητήριου κόμβου παραμένει μονίμως ενεργοποιημένη, προκειμένου να μη διακόπτεται η επικοινωνία του κόμβου με τον εξυπηρετητή.

Στην αρχική κατάσταση, μόλις δηλαδή οι κόμβοι εγκατασταθούν στην περιοχή παρακολούθησης, αποστέλλουν το ID και τις γεωγραφικές τους συντεταγμένες επαναλαμβανόμενα προκειμένου να τους εντοπίσει ο εξυπηρετητής. Μόλις γίνει ο εντοπισμός αυτός, ο εξυπηρετητής αποθηκεύει τα δεδομένα του εκάστοτε κόμβου σε ένα XML αρχείο, το οποίο έχει ως όνομα την τρέχουσα ημερομηνία. Επιπλέον αποστέλλει σε κάθε κόμβο ένα μήνυμα επιτυχούς σύνδεσης και ξεκινά η επικοινωνία μεταξύ τους. Ακολουθώντας, οι κόμβοι μεταβαίνουν στην αδρανή κατάσταση, η οποία είναι η κατάσταση με τη χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος.

Στη γενική περίπτωση, ο εξυπηρετητής αποστέλλει μία εντολή (broadcast command) στους κόμβους για την προετοιμασία λήψης και αναμετάδοσης των

μετρήσεων από αυτούς. Η εντολή είναι μία συμβολοσειρά, η οποία μπορεί να απευθύνεται είτε σε όλους τους κόμβους ή μεμονωμένα σε έναν κόμβο. Στην πρώτη περίπτωση η συμβολοσειρά περιέχει μόνο τον τύπο της εντολής, ενώ στη δεύτερη περιέχει επιπροσθέτως το ID του συγκεκριμένου κόμβου. Μόλις είτε ένας κόμβος είτε όλοι αναγνωρίσουν μία τέτοια εντολή, μεταβαίνουν από την αδρανή στην ενεργή κατάσταση και ξεκινά η λήψη των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, τα δεδομένα συμπύσσονται σε ένα ενιαίο πακέτο μέσω του μικροελεγκτή που εμπεριέχεται στον εκάστοτε κόμβο και αποστέλλονται επαναλαμβανόμενα στον εξυπηρετητή, μέσω αρχικά του πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας UART και έπειτα μέσω του ασύρματου πρωτοκόλλου ZigBee (βλ. Εικόνα 3.5). Η αποστολή αυτή παύει μόλις στον κόμβο φτάσει μήνυμα επιβεβαίωσης λήψης από τον εξυπηρετητή, οπότε και ο κόμβος μεταβαίνει εκ νέου στην αδρανή κατάσταση, ενώ ο εξυπηρετητής ενημερώνει το XML αρχείο αποθηκεύοντας τις νέες τιμές των μετρήσεων από τους κόμβους.

Μία επιπλέον εντολή από πλευράς του εξυπηρετητή είναι η εντολή επανέναρξης (reset command). Με την εντολή αυτή ο κόμβος μεταβαίνει στην αρχική κατάσταση, ανεξάρτητα από το αν βρίσκεται στην ενεργή ή αδρανή κατάσταση και ουσιαστικά επανεκκινεί το πρόγραμμα, το οποίο εκτελείται στον μικροελεγκτή. Τέλος, υπάρχει η εντολή αδρανοποίησης (idle command) με την οποία οι κόμβοι τίθενται στην αδρανή κατάσταση ανεξάρτητα από την εκάστοτε τρέχουσα κατάσταση.

Περνώντας στο κομμάτι της επικοινωνίας μεταξύ πελατών (clients) και εξυπηρετητή (server) αυτή πραγματοποιείται με τη χρήση του Διαδικτύου και μέσω της ανταλλαγής TCP/IP συμβολοσειρών. Αυτό προϋποθέτει την εκ των προτέρων ρύθμιση του δρομολογητή (router), στον οποίο είναι συνδεδεμένος ο εξυπηρετητής, ώστε να "ακούει" μία ορισμένη θύρα (port) επικοινωνίας για εισερχόμενα αιτήματα από τους πελάτες. Παράλληλα, ο πελάτης έχει ρυθμιστεί αντιστοίχως ώστε να απευθύνεται στην ανωτέρω θύρα και την εξωτερική IP του εξυπηρετητή. Αρχικά, ο πελάτης αποστέλλει ένα αίτημα σύνδεσης στον

εξυπηρετητή, το οποίο περιέχει απλώς το IP του. Στη συνέχεια, ο εξυπηρετητής αποστέλλει σε όλους τους μέχρι στιγμής συνδεδεμένους πελάτες μία συμβολοσειρά, η οποία περιλαμβάνει το IP του πελάτη προς σύνδεση, τις ημερομηνίες που αντιστοιχούν στο αποθηκευμένο ιστορικό καταγραφής και, τέλος, την έως τότε καταγραφή της ημέρας. Όταν ο εν λόγω πελάτης αναγνωρίσει το IP του στο εισερχόμενο πακέτο, ενημερώνεται η γραφική διεπαφή του λογισμικού του. Τότε ο πελάτης, αν είναι επιθυμητό, μπορεί να ζητήσει το ιστορικό των μετρήσεων για κάποια από τις διαθέσιμες ημερομηνίες αποστέλλοντας μία συμβολοσειρά με πρώτο στοιχείο το IP του και δεύτερο την επιθυμητή ημερομηνία. Η απόκριση του εξυπηρετητή έχει την ίδια δομή με εκείνη στο αίτημα σύνδεσης του πελάτη, μόνο που το τελικό τμήμα της συμβολοσειράς περιέχει το ιστορικό καταγραφής της επιθυμητής ημερομηνίας. Χαρακτηριστικό του εξυπηρετητή είναι ότι μετά από κάθε ολοκληρωμένη διαδικασία λήψης μετρήσεων από τους κόμβους αποστέλλει την ενημερωμένη έκδοση της καταγραφής της τρέχουσας ημέρας σε όλους τους συνδεδεμένους πελάτες. Ο πελάτης από την πλευρά του μπορεί να χρησιμοποιεί τα ληφθέντα δεδομένα για τη γραφική τους απεικόνιση σε ημερήσια βάση και μπορεί να θέτει γενικές τιμές κατωφλίου σε οποιαδήποτε φυσική παράμετρο, προκειμένου να ειδοποιείται ηχητικά στη περίπτωση υπέρβασης των ορισθέντων τιμών.

Από τα παραπάνω θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι η επικοινωνία μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου σταδίου διαφέρει από εκείνη μεταξύ δεύτερου και τρίτου. Στην πραγματικότητα, ωστόσο, και στις δύο περιπτώσεις η επικοινωνία βασίζεται στην αποστολή προκαθορισμένων συμβολοσειρών, κάτι που προσομοιάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαδικασία ανταλλαγής μηνυμάτων (chatting).

4.5 Αρχιτεκτονική και τοπολογία ασύρματου δικτύου αισθητήρων (WSN)

Το στρώμα δικτύωσης του προτύπου ZigBee το οποίο επιλέχθηκε ως πρότυπο επικοινωνίας, μπορεί να υποστηρίξει επίπεδη (Flat) και ιεραρχική (Hierarchical ή Cluster) αρχιτεκτονική δικτύων οι οποίες αναφέρονται στην Ενότητα 2.2 καθώς και διαφορετικές τοπολογίες δικτύων, όπως την τοπολογία αστέρα, δέντρου και πλέγματος.

Στο δίκτυο του σεναρίου προς υλοποίηση εφαρμόζεται η ιεραρχική αρχιτεκτονική, εγκαθιστώντας τους κόμβους του σε τοπολογία αστέρα. Η θεώρηση της συγκεκριμένης τοπολογίας έγκειται στο γεγονός ότι οι αισθητήριοι κόμβοι αποστέλλουν απευθείας τα δεδομένα τους στον συντονιστή χωρίς να δημιουργούν δίκτυο πλέγματος μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, το δίκτυο αποτελείται από δύο αισθητήριοις κόμβους ρυθμισμένους ως Router ZigBee συσκευές και ένα συντονιστή δικτύου ρυθμισμένο ως Coordinator ZigBee συσκευή. Οι αισθητήριοι κόμβοι προορίζονται να βρίσκονται στην περιοχή παρακολούθησης, η οποία βρίσκεται εντός του χώρου της Πολυτεχνειούπολης και το εμβαδόν της οποίας ανέρχεται περίπου στα 32000m². Ο συντονιστής προβλέπεται να τοποθετηθεί στο σημείο που φαίνεται στην Εικόνα 4.2 και να συλλέγει τα δεδομένα από τους αισθητήριοις κόμβους. Εν γένει συνίσταται ο συντονιστής να βρίσκεται υψομετρικά υψηλότερα σε σχέση με τους κόμβους και κατά το δυνατόν να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ τους, διότι η ύπαρξη εμποδίων επηρεάζει αρνητικά τη μεταξύ τους επικοινωνία. Στο δίκτυο αυτό, λόγω του μικρού μεγέθους του και της τοπολογίας σύμφωνα με την οποία πρόκειται να εγκατασταθούν οι κόμβοι του, δεν τίθεται λόγος ύπαρξης τερματικών συσκευών (ZigBee End Devices), διότι τα δεδομένα αποστέλλονται απευθείας από τους κόμβους (Router ZigBee συσκευές) στον συντονιστή. Επιπροσθέτως, δεν τίθεται λόγος ύπαρξης πύλης (Gateway), διότι δεν είναι εγκατεστημένο κάποιο άλλο ZigBee δίκτυο στην γύρω περιοχή με το οποίο να χρειαστεί να συνδεθεί το παρόν δίκτυο.



Εικόνα 4.2. Θέσεις των αισθητήριων κόμβων και του συντονιστή και οι μεταξύ τους αποστάσεις (οι κόμβοι επισημαίνονται με πράσινους δείκτες και ο συντονιστής με κόκκινο δείκτη). Ως περιοχή παρακολούθησης θεωρείται το πολύγωνο το οποίο περιέχει τους κόμβους. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες του άνω κόμβου είναι: 37.978636, 23.780322 του κάτω κόμβου: 37.978100, 23.779893 ενώ του συντονιστή είναι: 37.978113, 23.783312.

5ο Κεφάλαιο: Δομή του Υλικού του Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η υποδομή των αισθητήριων κόμβων και του σταθμού συλλογής δεδομένων. Ακολουθώντας την πρότυπη υποδομή ενός τυπικού αισθητήριου κόμβου, η οποία αναλύεται στην Ενότητα 2.5 και παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.3, προκύπτει κατά αντιστοιχία και τμηματικά η υλοποίηση της υποδομής των αισθητήριων κόμβων του σεναρίου.

Τα κριτήρια με βάση τα οποία επιλέγονται τα επιμέρους τμήματα των κόμβων είναι εκείνα τα οποία παρουσιάζονται στην Ενότητα 2.5. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην απλότητα, την λειτουργικότητα, την σωστή επικοινωνία-ελεγχιμότητα και την επεκτασιμότητα των κόμβων του δικτύου.

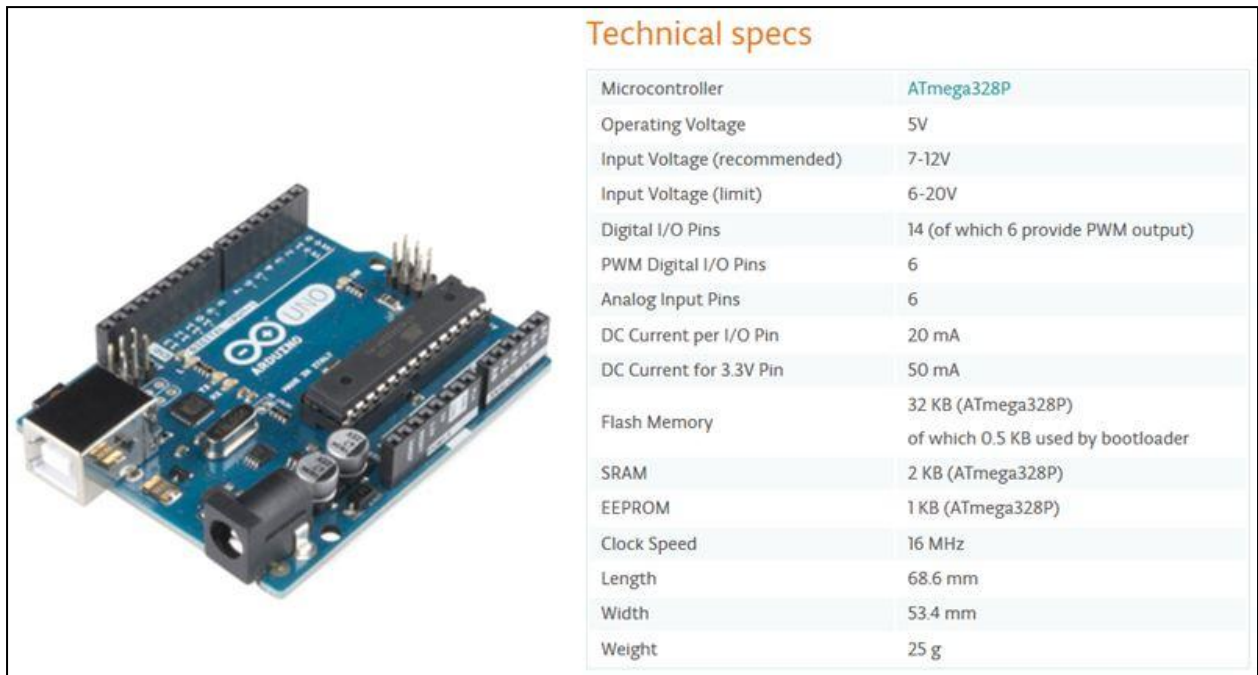
5.2 Επιλογή επεξεργαστικής μονάδας

Η επεξεργαστική μονάδα αποτελεί την πρωταρχική συνιστώσα ενός αισθητήριου κόμβου. Για την ορθή της επιλογή πρέπει να ληφθούν αρκετές παράμετροι υπόψη όπως το κόστος, η κατανάλωση, η απλότητα στη σύνδεση με τους αισθητήρες και στην επικοινωνία με τις περιφερειακές συσκευές.

Όπως αναλύεται και στην Ενότητα 3.2 υπάρχουν δύο κατηγορίες επεξεργαστικών μονάδων οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν ως κέντρα έλεγχου σε έναν αισθητήριο κόμβο, οι μικροελεγκτές και οι μικροεπεξεργαστές. Από τον Πίνακα 3.1, όπου παρουσιάζονται οι κυριότερες διαφορές μεταξύ των δύο,

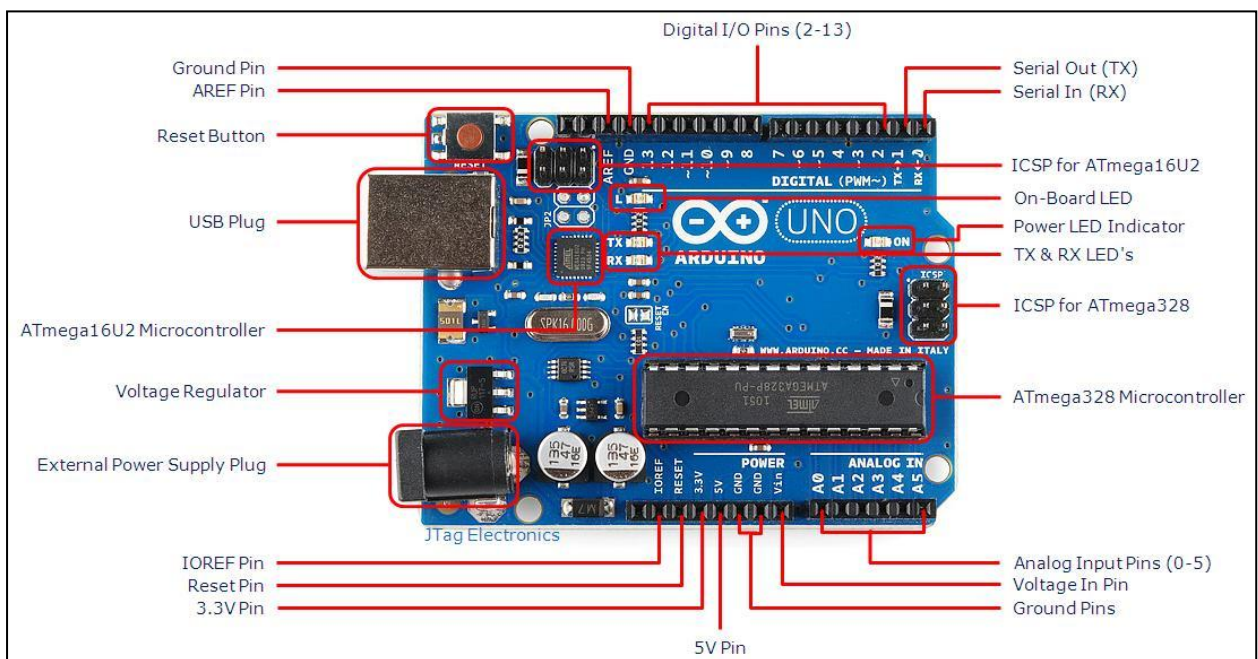
διαφαίνεται πως καταλληλότερη επιλογή για την συγκεκριμένη υλοποίηση αποτελεί αυτή ενός μικροελεγκτή έναντι ενός μικροεπεξεργαστή. Αρχικά, διότι στην συγκεκριμένη εφαρμογή δεν απαιτείται υψηλή υπολογιστική ισχύς, άρα και υψηλή κατανάλωση, παρά μόνο διάβασμα των μετρήσεων από τους αισθητήρες, διαβίβασή τους μέσω του πομποδέκτη στον σταθμό συλλογής δεδομένων και, τέλος, μερικοί εσωτερικοί μικροέλεγχοι στον κόμβο. Έπειτα, για λόγους εξοικονόμησης χώρου και κόστους επιλέγουμε τον μικροελεγκτή διότι μας δίνει την δυνατότητα ενσωμάτωσης του επεξεργαστή, των μετατροπέων αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και της μνήμης σε ένα χαμηλού κόστους chip. Επιπλέον, διότι υποστηρίζει σειριακά πρωτόκολλα επικοινωνίας τα οποία διευκολύνουν την επικοινωνία του με τους αισθητήρες και τον πομποδέκτη. Και τέλος, διότι ικανοποιεί το κριτήριο της απλότητας καθώς χρησιμοποιείται μια γλώσσα υψηλού επιπέδου για τον προγραμματισμό του.

Ένας από τους μικροελεγκτές ο οποίος πληροί σε ικανοποιητικό βαθμό όλα τα παραπάνω είναι ο ATmega328P-PU της εταιρίας Atmel. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής διαθέτει έναν 8-Bit AVR επεξεργαστή, με 32KB χώρο για προγραμματισμό, 1024B EEPROM, 2KB SRAM και 20 I/O γραμμές, εκ των οποίων 14 ψηφιακές και 6 οι οποίες είναι κανάλια για τον 10-bit ADC. Το chip έρχεται σε ένα DIP πακέτο 28 ακροδεκτών, δουλεύει σε συχνότητες έως και 20MHz με εξωτερικό κρύσταλλο και λειτουργεί με τάση από 1.8 έως και 5Volt. Ένα επιπλέον γεγονός το οποίο τον ξεχωρίζει από τους υπόλοιπους μικροελεγκτές πέρα από τα χαρακτηριστικά του είναι ότι αξιοποιείται στην πλατφόρμα Arduino. Συγκεκριμένα το Arduino Uno Rev3, το οποίο αποτελεί μια από τις επίσημες πλακέτες Arduino, είναι ένας single-board μικροελεγκτής, δηλαδή μια απλή μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα, με ενσωματωμένο τον μικροελεγκτή της Atmel ATmega328P, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί μέσω του Arduino IDE λογισμικού.



Εικόνα 5.1. Πλακέτα Arduino Uno Rev3 και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

[Πηγές: <http://goo.gl/ajW6BL>, <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>]



Εικόνα 5.2. Πλακέτα Arduino Uno Rev3 με τις ονοματολογίες των επιμέρους τμημάτων της.

[Πηγή: <http://www.jtagelectronics.com/?p=75>]

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή για λόγους χώρου και κόστους δεν έχει ενσωματωθεί η πλακέτα Arduino Uno στο κύκλωμα των κόμβων, αλλά μόνο ο μικροελεγκτής ATmega328P. Η χρήση παρόλα αυτά της συγκεκριμένης πλακέτας γίνεται καθαρά για διευκόλυνση στον προγραμματισμό του μικροελεγκτή και για τη φόρτωση του προγράμματος εκκίνησης (bootloader) σε αυτόν, καθώς τα ίδια θα μπορούσαν να υλοποιηθούν με τη χρήση άλλων γλωσσών προγραμματισμού χαμηλότερου επιπέδου και με τη χρήση άλλων λογισμικών. Κάτι τέτοιο, όμως, θα αύξανε σημαντικά την πολυπλοκότητα του κώδικα και ιδιαίτερα το μέρος το οποίο υλοποιεί την επικοινωνία του chip με τις περιφερειακές συσκευές.

Τέλος, πρέπει να ικανοποιηθεί όσο το δυνατόν περισσότερο το κριτήριο της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας στο κύκλωμα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει ο μικροελεγκτής να λειτουργεί με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση χωρίς να επιβαρύνει αισθητά τη διάρκεια ζωής του κυκλώματος και παράλληλα να εκτελεί σωστά το έργο του. Για το σκοπό αυτό, και έπειτα από δοκιμές, πρόεκυψε ότι οι βέλτιστες συνθήκες για την ορθή λειτουργία του μικροελεγκτή στο κύκλωμα είναι η τροφοδότησή του με τάση 5Volt και συχνότητα λειτουργίας στα 8MHz. Από τις συγκεκριμένες ρυθμίσεις προκύπτει ότι το συνολικό ρεύμα το οποίο καταναλώνει το chip για τη λειτουργία του είναι 8.5mA και η αντίστοιχη συνολική ισχύς ανέρχεται στα 42.5mW. Η διαδικασία προγραμματισμού και ρύθμισης καθώς και ο κώδικας ο οποίος εκτελείται μέσα στο chip θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στο επόμενο κεφάλαιο.

5.3 Επιλογή αισθητήρων

Έχοντας επιλεχθεί ένας μικροελεγκτής ως επεξεργαστική μονάδα, από την Εικόνα 2.3 βλέπουμε ότι έχουν καλυφθεί οι ανάγκες για επεξεργαστή, μνήμη και μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των αισθητήρων οι οποίοι τοποθετούνται στον αισθητήριο κόμβο.

Στην Ενότητα 3.6 επιλέχθηκαν τέσσερις φυσικές παράμετροι για την ανίχνευση πυρκαγιών και παρουσιάστηκαν ορισμένοι αισθητήρες οι οποίοι τις μετρούν. Με κριτήριο το χαμηλό κόστος και τη χαμηλότερη δυνατή κατανάλωση επιλέγονται δύο modules από το εμπόριο τα οποία περιλαμβάνουν δύο από τους αισθητήρες των Πινάκων 3.2-4. Τα συγκεκριμένα modules δέχονται τροφοδοσία ως είσοδο και παρέχουν εξόδους οι οποίες συνδέονται στον μικροελεγκτή και με κατάλληλο κώδικα λαμβάνονται οι μετρήσεις.

Το πρώτο module είναι ο αισθητήρας AM2301 της εταιρίας Aosong Electronics ο οποίος περιέχει τον DHT21, που είναι μια απλούστερη έκδοση του αισθητήρα DHT22, και μπορεί να μετρά με υψηλή ακρίβεια την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Το συγκεκριμένο module χαμηλής κατανάλωσης και υψηλής ακρίβειας έρχεται σε πακέτο με τρεις ακροδέκτες, με πλαστικό περίβλημα και με ήδη βαθμονομημένο τον αισθητήρα που περιέχει. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται τα στοιχεία του αισθητήρα και στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι ακροδέκτες του.

AM2301

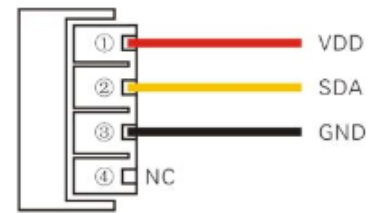
Εύρος Θερμοκρασίας: $-40^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$
Ακρίβεια μέτρησης Θερμοκρασίας: $\pm 1^{\circ}\text{C}$
Εύρος Υγρασίας: $0 \sim 99\%RH$
Ακρίβεια μέτρησης Υγρασίας: $\pm 3\%RH$
Εύρος τάσης τροφοδοσίας: $3.3 \sim 5.2 \text{ Volt}$
Κατανάλωση ισχύος στα 5Volt: $< 2.5\text{mW}$

Πίνακας 5.1. Αισθητήρας θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας AM2301.

4.1 AM2301 Pin assignments

Table 1: AM2301 Pin assignments

Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V–5.2V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty



PIC1: AM2301 Pin Assignment

Εικόνα 5.3. Ακροδέκτες του αισθητήρα AM2301. [Πηγή: <http://webmeteobox.ru/docs/AM2301.pdf>]

Το δεύτερο module περιλαμβάνει τον αισθητήρα αερίων MQ-2 της εταιρίας Hanwei Electronics ο οποίος είναι χρήσιμος στο να ανιχνεύει αέρια όπως υγραέριο, προπάνιο, υδρογόνο, μεθάνιο, βουτάνιο, αλκοόλη, μονοξείδιο του άνθρακα και καπνό. Από τα αέρια τα οποία ανιχνεύει ο αισθητήρας αξιοποιείται η δυνατότητα ανίχνευσης καπνού (smoke) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στο περιβάλλον. Το συγκεκριμένο module είναι χαμηλού κόστους όμως ο αισθητήρας είναι υψηλής κατανάλωσης, τουλάχιστον 520mW στα 5Volt, και χρειάζεται ειδική προετοιμασία και βαθμονόμηση για να δώσει σωστές μετρήσεις. Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται η βαθμονόμηση που προτείνει η εταιρία Sandbox Electronics [19]. Το module αυτό έχει τέσσερις ακροδέκτες, δύο για την τροφοδοσία του και δύο εξόδους, μία αναλογική και μία ψηφιακή. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι δύο όψεις του συγκεκριμένου module και στον Πίνακα 3.4 τα χαρακτηριστικά του καθώς και η κατανάλωσή του.



Εικόνα 5.4. Αισθητήρας αερίων MQ-2. [Πηγή: <http://goo.gl/WeUuzx>]

Ένα εύλογο ερώτημα θα ήταν ποιος ο λόγος χρήσης ενός τόσο ογκώδους μικροελεγκτή για την χρήση μόνο δύο αισθητήρων όταν υπάρχουν άλλοι αντίστοιχοι με λιγότερους ακροδέκτες και χαμηλότερη κατανάλωση. Η απάντηση είναι πολύπλευρη και δείχνει τον λόγο επιλογής του συγκεκριμένου μικροελεγκτή έναντι άλλων. Αρχικά, με την χρήση του ATmega328P διασφαλίζονται τα κριτήρια της σταθερότητας και της ορθότητας του συστήματος, διότι μέσω της πλατφόρμας Arduino αυτός έχει δοκιμαστεί και αξιοποιηθεί σε παρά πολλά απλά και σύνθετα εγχειρήματα έχοντας εισπράξει θετικές κριτικές από μια μεγάλη και ενεργή κοινότητα για τον τρόπο λειτουργίας του. Έπειτα, διασφαλίζεται η απλότητα στον προγραμματισμό αυτού, των αισθητήρων του και γενικότερα των περιφερειακών του καθώς με την χρήση του λογισμικού Arduino IDE οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν μια γλώσσα υψηλού επιπέδου με χρήση βιβλιοθηκών για τον προγραμματισμό του. Τέλος, ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής μέσω των πολλαπλών εισόδων/εξόδων που διαθέτει προσφέρει επιπλέον επεκτασιμότητα στον κόμβο στην περίπτωση που πρέπει να συνδεθούν και άλλα περιφερειακά σε αυτόν.

5.4 Επιλογή πομποδέκτη

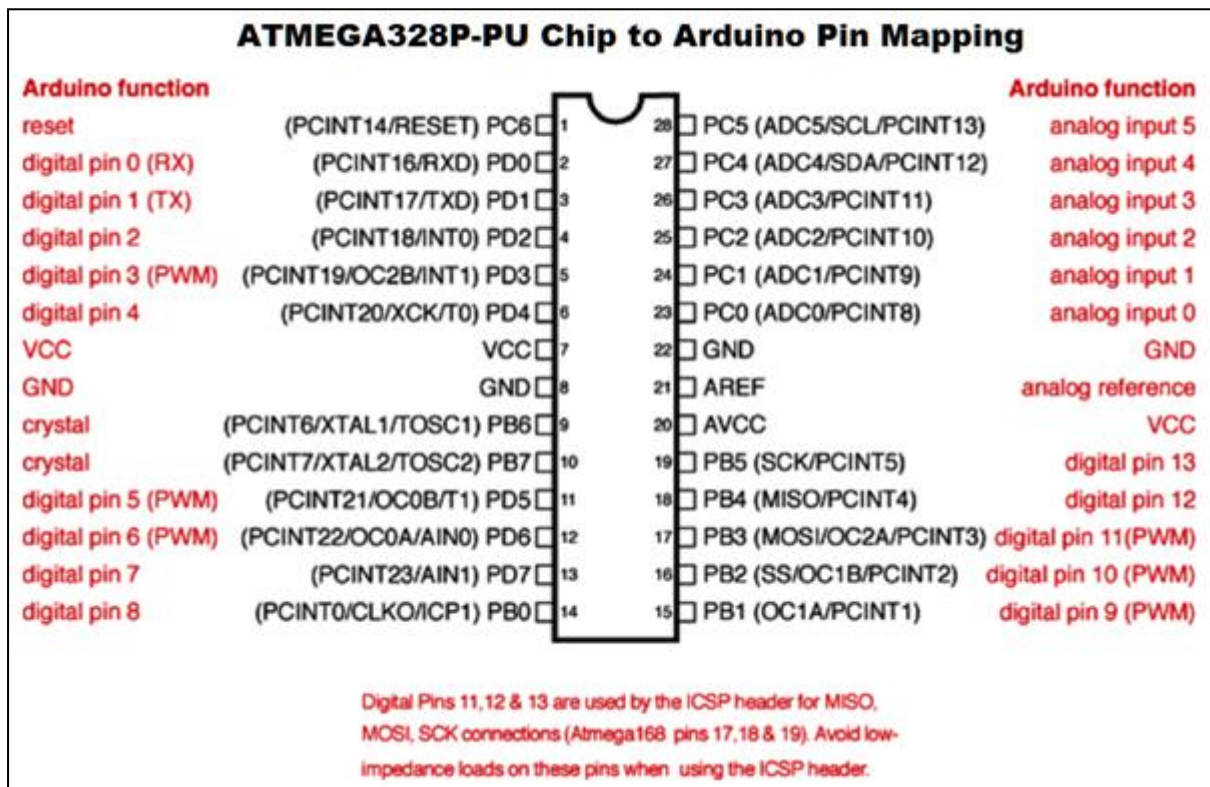
Επόμενο βήμα είναι η επιλογή ενός πομποδέκτη (transceiver) χαμηλής ισχύος ο οποίος να υποστηρίζει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας ZigBee και UART ώστε να είναι σε θέση να επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή και να προωθεί τα μηνύματα μεταξύ αυτού και του σταθμού συλλογής δεδομένων.

Σύμφωνα με τις θέσεις και τις αποστάσεις των κόμβων που έχουν οριστεί, οι οποίες φαίνονται στην Εικόνα 4.2, ως βέλτιστη επιλογή από οικονομικής και ενεργειακής άποψης προκύπτει η χρήση ενός XBee 2mW RPSMA - Series 2 της εταιρίας Digi International, τα χαρακτηριστικά του οποίου βρίσκονται στον Πίνακα 3.6. Η συγκεκριμένη επιλογή έγινε με σκοπό την επίτευξη μεγαλύτερης εξοικονόμησης ενέργειας στους αισθητήριους κόμβους, καθώς με βάση τις αποστάσεις τους από τον συντονιστή βρίσκονται ήδη μέσα στην εμβέλειά του και παράλληλα δεν συντρέχει λόγος για μεταξύ τους επικοινωνία καθώς το δίκτυο έχει τοπολογία αστέρα και όχι πλέγματος.

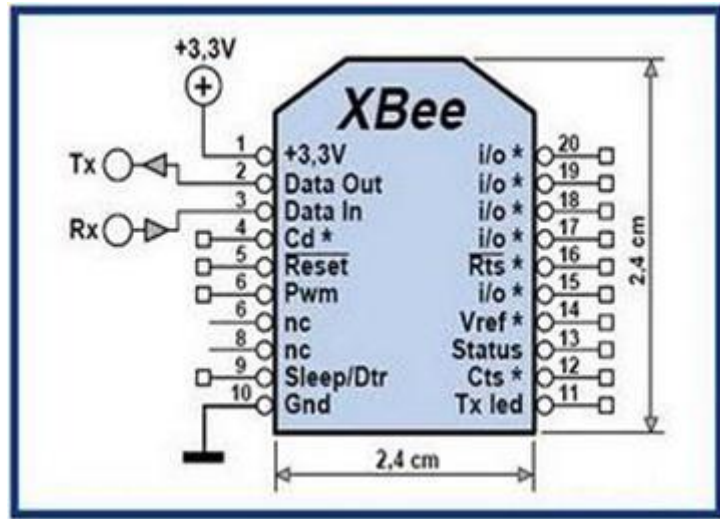
Το συγκεκριμένο module ρυθμίζεται έτσι ώστε να λειτουργεί σε AT λειτουργία και να επικοινωνεί με τον μικροελεγκτή μέσω της UART σειριακής επικοινωνίας, η οποία αναλύθηκε στην Ενότητα 3.7.3. Αυτό τον κάνει να δουλεύει σαν ένας κοινός πομποδέκτης του οποίου η δουλειά είναι μόνο να προωθεί τα μηνύματα του μικροελεγκτή στον συντονιστή και τούμπαλιν, χωρίς να εκτελεί κάποια επιπλέον διεργασία.

Δεδομένου ότι η τροφοδοσία του μικροελεγκτή είναι 5Volt αυτό ταυτόχρονα σημαίνει πως τα επίπεδα τάσης που χρησιμοποιεί για τη σειριακή επικοινωνία για 0 και 1 ιδανικά είναι 0 και 5Volt. Από την άλλη μεριά, η XBee συσκευή είναι αναγκαίο να τροφοδοτείται με σταθερή τάση 3.3Volt που σημαίνει κατά αντιστοιχία ότι τα λογικά επίπεδα τα οποία αντιλαμβάνεται στην σειριακή επικοινωνία είναι 0 και 3.3Volt. Η σύνδεση του XBee με τον μικροελεγκτή είναι πολύ απλή και επιτυγχάνεται με την χρήση δύο μόνο ακροδεκτών σε κάθε συσκευή. Ο ακροδέκτης RX του μικροελεγκτή συνδέεται με τον TX ή αλλιώς DOUT

του XBee και αντίστοιχα ο ακροδέκτης TX του μικροελεγκτή συνδέεται με τον RX ή αλλιώς DIN του XBee. Οι ακροδέκτες των δύο συσκευών φαίνονται στα ακόλουθα σχήματα. Οι ακροδέκτες του μικροελεγκτή παρουσιάζονται σκόπιμα με μία αντιστοίχιση στα ονόματα των ακροδεκτών του Arduino διότι αυτό θα φανεί χρήσιμο στο επόμενο κεφάλαιο το οποίο αφορά στο πρόγραμμά του.

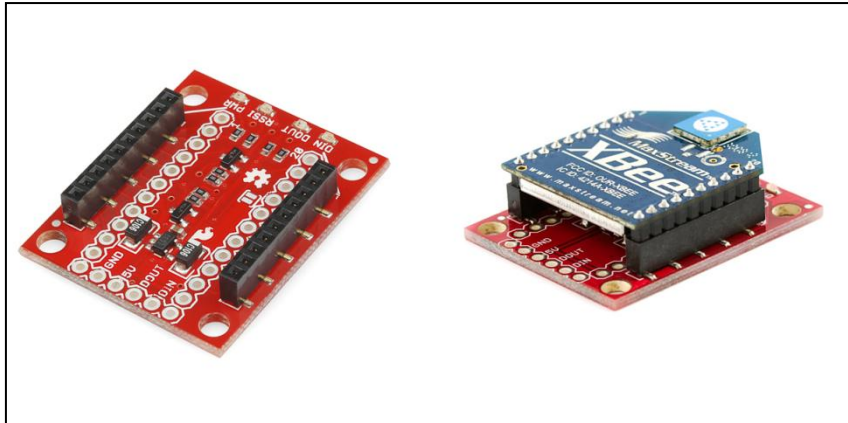


Εικόνα 5.5. Η ονοματολογία των ακροδεκτών του ATmega328P σε αντιστοίχιση με την ονοματολογία των ακροδεκτών που χρησιμοποιεί η Arduino Uno πλακέτα. [Πηγή: <http://goo.gl/af4yIY>]



Εικόνα 5.6. Ονοματολογία ακροδεκτών XBee πλακέτας. [Πηγή: <https://goo.gl/NtC8VA>]

Η διαφοροποίηση των επιπέδων των τάσεων των δύο συσκευών δημιουργεί προβλήματα στην μεταξύ τους επικοινωνία διότι η κάθε συσκευή αντιλαμβάνεται διαφορετικά επίπεδα τάσης ως λογικό 0 και 1. Επίσης, η τάση των 5Volt του μικροελεγκτή μπορεί να βλάψει ανεπανόρθωτα το κύκλωμα της XBee συσκευής η οποία αντέχει τάσεις μέχρι 3.6Volt. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιούμε τον αντάπτορα SparkFun XBee Explorer Regulated της εταιρίας Sparkfun Electronics ο οποίος "μεταφράζει" τα σειριακά σήματα του μικροελεγκτή από 5 σε 3.3Volt και τα αντίστοιχα του XBee από 3.3 σε 5Volt. Παράλληλα, ο συγκεκριμένος αντάπτορας εγγυάται σταθερή τάση τροφοδοσίας της XBee συσκευής σε τάσεις εισόδου οι οποίες κυμαίνονται από 3.3 έως και 5Volt. Με τη χρήση του συγκεκριμένου αντάπτορα απλοποιείται το θέμα της τροφοδοσίας του κυκλώματος καθώς όλα τα στοιχεία πλέον μπορούν να τροφοδοτούνται με τάση 5Volt, πράγμα το οποίο καταλήγει στην ύπαρξη μίας μόνο σταθερής πηγής τροφοδοσίας.



Εικόνα 5.7. Ο αντάπτορας SparkFun XBee Explorer Regulated χωρίς και μαζί με XBee συσκευή.

[Πηγή: <https://www.sparkfun.com/products/11373>]

5.5 Κύκλωμα τροφοδότησης του αισθητήριου κόμβου

Το τελευταίο βήμα και σημαντικότερο για την ολοκλήρωση του κυκλώματος του αισθητήριου κόμβου είναι η σωστή και σταθερή τροφοδότησή του. Η εξοικονόμηση ενέργειας όπου αυτό είναι εφικτό και η αποκατάσταση ενέργειας μέσω της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προσφέρουν στη διάταξη αυτονομία και σταθερότητα.

Για τη τροφοδότηση των παραπάνω συσκευών προκύπτει η ανάγκη για μια πηγή τροφοδοσίας σταθερής τάσης 5Volt καθώς όλες οι επιμέρους συσκευές του κυκλώματος των κόμβων λειτουργούν στη συγκεκριμένη τάση.

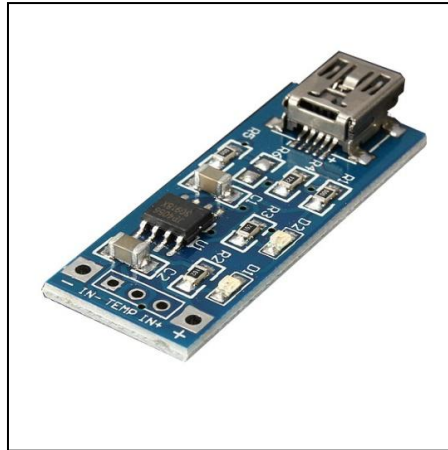
Το κύκλωμα τροφοδοσίας αποτελείται από τρία μέρη. Αρχικά, περιλαμβάνει την επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου ICR18650-26F της εταιρίας GP Batteries με τάση εξόδου από 2.75 έως και 4.2Volt και χωρητικότητα 2600mAh, η οποία παρέχει την απαραίτητη ισχύ στον κόμβο με σκοπό την σταθερή του λειτουργία. Η συγκεκριμένη μπαταρία μπορεί να φορτιστεί με μέγιστο ρεύμα τα 2A και να εκφορτιστεί με μέγιστο ρεύμα τα 5.2A.



Εικόνα 5.8. Επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου GP Batteries ICR18650-26F.

[Πηγή: <http://goo.gl/C8Juy3>]

Για την επίτευξη μιας ορθής και ασφαλούς φόρτισης της μπαταρίας απαραίτητη είναι η ύπαρξη ενός ενδιάμεσου κυκλώματος το οποίο διακόπτει τη διαδικασία της φόρτισης μόλις η μπαταρία αγγίξει το κρίσιμο όριο τάσης των 4.2Volt. Το συγκεκριμένο κύκλωμα φόρτισης δέχεται ως είσοδο ένα εύρος τάσεων από 4 έως 8Volt, δύναται να παρέχει ρυθμιζόμενο ρεύμα φόρτισης έως και 1A και να διακόπτει την διαδικασία φόρτισης στα 4.2Volt με τη χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος διαχείρισης φόρτισης TP4056. Η τιμή του ρεύματος φόρτισης μένει η προεπιλεγμένη, δηλαδή 1A καθώς η μπαταρία αντέχει ρεύματα φόρτισης έως και 2A. Τέλος, ο συγκεκριμένος φορτιστής παρέχει την δυνατότητα φόρτισης της μπαταρίας με δύο τρόπους, είτε μέσω των ακροδεκτών IN+ και IN- στους οποίους θα μπορούσε να συνδεθεί ένα ηλιακό πάνελ μέγιστης τιμής τάσης εξόδου τα 8Volt είτε μέσω της ενσωματωμένης mini USB θύρας στην οποία είναι δυνατόν να συνδεθεί οποιοδήποτε συμβατικό τροφοδοτικό με τάση εξόδου έως 8Volt. Στην παρούσα εργασία εφαρμόζεται ο δεύτερος τρόπος τροφοδότησης, ο οποίος χρησιμοποιείται για να προσομοιάσει την τροφοδότηση της μπαταρίας μέσω ενός ηλιακού πάνελ. Ωστόσο, στο κύκλωμα παρέχεται και η δυνατότητα σύνδεσης ηλιακού πάνελ, όπως θα φανεί στην επόμενη ενότητα.



Εικόνα 5.9. Φορτιστής μίας κυψέλης (cell) μπαταρίας λιθίου. [Πηγή: <http://goo.gl/QjFwrg>]

Τέλος, δεδομένου ότι η μέγιστη τάση την οποία παρέχει η μπαταρία είναι 4.2Volt, ενώ το κύκλωμα πρέπει να τροφοδοτείται με 5Volt, αναγκαία είναι η ύπαρξη ενός ανυψωτή αλλά παράλληλα και σταθεροποιητή τάσης με πολύ χαμηλές απώλειες ισχύος. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ο ακόλουθος διακοπτικός ανυψωτής τάσης ο οποίος δέχεται ως είσοδο ένα εύρος τάσεων από 0.9 έως και 5Volt, διατηρώντας την έξοδό του με μεγάλη ακρίβεια στα 5Volt σε φορτία ισχύος έως και 3W. Ο συγκεκριμένος ανυψωτής τάσης έρχεται σε πολύ χαμηλό κόστος, με βαθμό απόδοσης στη μεταφορά ισχύος από την είσοδό του στην έξοδό του έως και 96% και είναι ικανός να παρέχει στο συγκεκριμένο κύκλωμα την αναγκαία ισχύ χωρίς να υπόκειται σε φθορές.

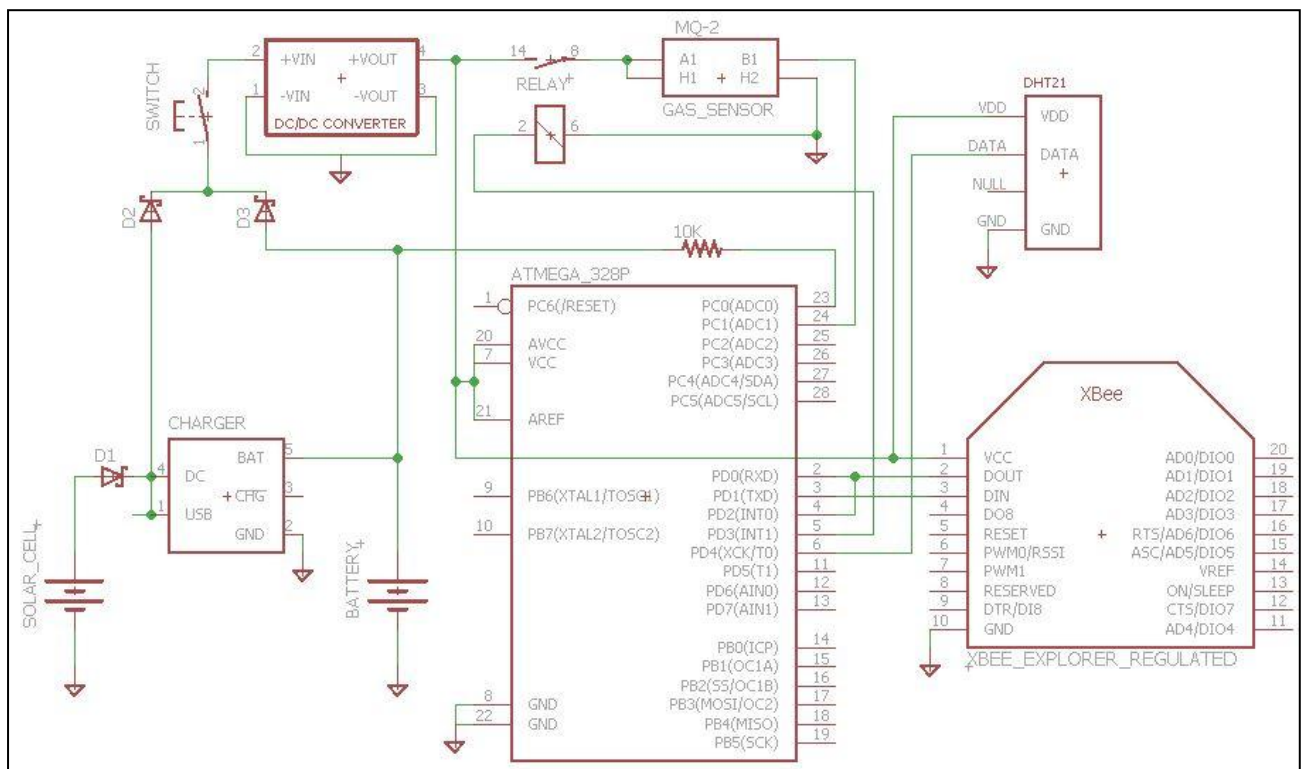


Εικόνα 5.10. Ανυψωτής και σταθεροποιητής τάσης (DC to DC Step Up Converter).

[Πηγή: <http://goo.gl/P2eSxV>]

5.6 Το σχηματικό του αισθητήριου κόμβου

Έχοντας καλύψει πλέον όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται ο αισθητήριος κόμβος, επόμενο βήμα αποτελεί η σχεδίαση και η κατασκευή του κυκλώματος με βάση τις παραπάνω επιλογές. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος το οποίο προέκυψε συνδυάζοντας τα επιλεγμένα στοιχεία καθώς και τη λογική με την οποία αξιοποιούνται πάνω στο κύκλωμα με βάση το πρόγραμμα του μικροελεγκτή το οποίο παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 5.11. Το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος του αισθητήριου κόμβου.

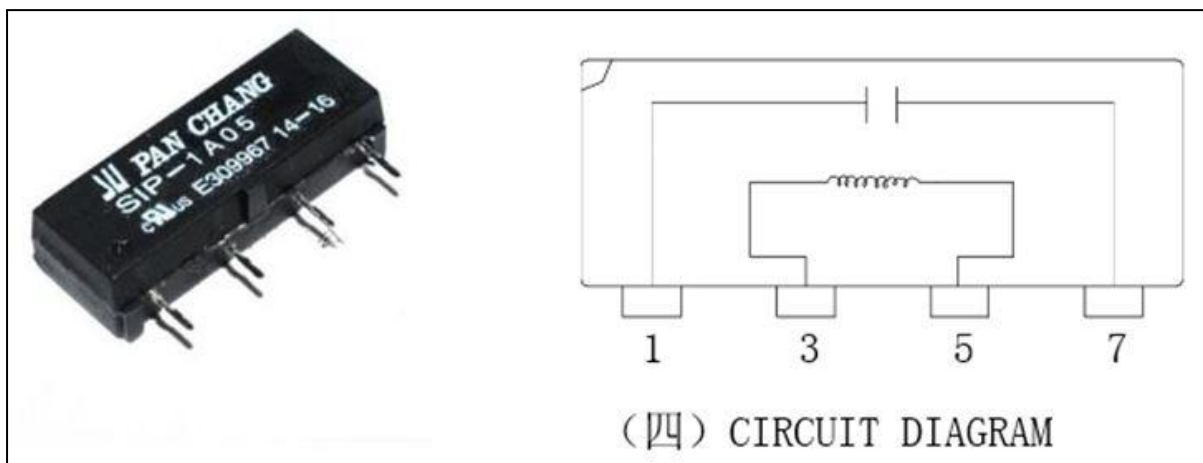
Είναι φανερό πως στο σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος υπάρχουν επιπλέον ορισμένα στοιχεία τα οποία δεν αναφέρθηκαν παραπάνω και αναλύονται ακολούθως.

Τα στοιχεία "D1", "D2" και "D3" είναι οι τύπου Schottky δίοδοι 1N5817. Οι δίοδοι τύπου Schottky είναι χρήσιμες διότι έχουν χαμηλότερη πτώση τάσης στα άκρα

τους κατά την ορθή τους πόλωση από τις υπόλοιπες διόδους, πράγμα το οποίο συνεπάγεται τη μικρότερη κατανάλωση ισχύος πάνω σε αυτές. Παράλληλα, ένα ακόμα πλεονέκτημά τους είναι η πολύ γρήγορη διακοπτική τους ικανότητα κατά την εναλλαγή μεταξύ ορθής και ανάστροφης πόλωσης έναντι των υπολοίπων τύπων καθιστώντας τες απαραίτητες σε εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων. Γενικότερα, η χρήση της διόδου ανάμεσα σε ένα ηλιακό πάνελ και μία πηγή τάσης είναι αναγκαία διότι ανάλογα με τα επίπεδα τάσης των δύο στοιχείων υπάρχει και ανάλογη κατεύθυνση ροής ισχύος μεταξύ των δύο. Ειδικότερα, η ροή ισχύος από την πηγή τάσης προς το ηλιακό πάνελ είναι απαγορευμένη διότι καταστρέφει απευθείας το ηλιακό πάνελ. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η διάδος "D1" επιτρέπει μόνο τη ροή ισχύος από το ηλιακό πάνελ προς τον φορτιστή μπλοκάροντας την αντίθετη ροή ακόμα και στην περίπτωση που συνδεθεί επιπλέον τροφοδοσία στη mini USB θύρα. Οι διόδοι "D2" και "D3" χρησιμεύουν στην "επιλογή" της πηγής τροφοδοσίας του κυκλώματος. Στην περίπτωση όπου η mini USB θύρα (ή το ηλιακό πάνελ "SOLAR_CELL") έχει τάση μεγαλύτερη από εκείνη της μπαταρίας "BATTERY", τότε η διάδος "D2" άγει με μία πτώση τάσης τάξεως μικρότερης των 0.45Volt, ενώ αντίθετα η "D3" λειτουργεί ως ανοιχτοκύκλωμα. Τότε, ένα μέρος της παρεχόμενης ενέργειας χρησιμοποιείται για τη συνέχιση της τροφοδότησης του κυκλώματος του αισθητήριου κόμβου, ενώ το άλλο μέρος χρησιμεύει στην φόρτιση της μπαταρίας μέσω του φορτιστή "CHARGER". Στην αντίθετη περίπτωση η "D3" άγει ενώ η "D2" λειτουργεί ως ανοιχτοκύκλωμα, οπότε για την τροφοδοσία του κυκλώματος του κόμβου χρησιμοποιείται μόνο η ενέργεια της μπαταρίας. Οι μεταβάσεις στις καταστάσεις των διόδων γίνονται στον ίδιο χρόνο, με συνέπεια το κύκλωμα να μη τίθεται εκτός λειτουργίας όποτε αυτές συμβαίνουν. Πρέπει να σημειωθεί ότι με βάση το τελικό κύκλωμα η οποιαδήποτε πηγή τάσης στην είσοδο του φορτιστή δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 5Volt. Αυτό διότι η ίδια τάση (ελαττωμένη κατά τη πτώση τάσης λόγω της διόδου "D2") χρησιμοποιείται και ως είσοδος στον ανυψωτή τάσης "DC/DC CONVERTER", ο οποίος έχει εύρος τάσεων εισόδου από 0.9 έως 5Volt. Σε περίπτωση χρήσης πηγής τάσης μεγαλύτερης των

5Volt, αναγκαία είναι η υποβίβαση αυτής στα 5Volt με τη χρήση διακοπτικού υποβιβαστή προτού αυτή εφαρμοστεί ως είσοδος στον φορτιστή. Στην παρούσα υλοποίηση δεν κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση ενός υποβιβαστή, διότι ως πηγή τάσης εισόδου συνδέεται ένα συμβατικό τροφοδοτικό τάσης 5Volt στη mini USB θύρα του φορτιστή.

Το στοιχείο "RELAY" είναι το SIP-1A05 Reed Relay της εταιρίας PAN CHANG. Το συγκεκριμένο ρελέ είναι κανονικά ανοιχτό (NO), έχει πολύ χαμηλό κόστος, πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος κατά τον οπλισμό του πηνίου του, αρκετά μικρό μέγεθος και οι επαφές του επιτρέπουν φορτία ρεύματος έως και 1A. Η ύπαρξη του στοιχείου "RELAY" είναι αναγκαία για την ενεργοποίηση και την απενεργοποίηση του αισθητήρα αερίων, ο οποίος λόγω της υψηλής του κατανάλωσης δεν πρέπει να είναι μόνιμα ενεργοποιημένος, παρά μόνο όταν χρειάζεται να παρθεί μέτρηση. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται το ρελέ καθώς και το κυκλωματικό του διάγραμμα.



Εικόνα 5.12. SIP-1A05 Reed Relay και το κυκλωματικό του διάγραμμα.

[Πηγές: <http://goo.gl/YVTNoZ>, <http://goo.gl/GOp4H7>]

Η επιλογή του συγκεκριμένου τύπου ρελέ έγινε διότι πέρα από το μικρό χώρο τον οποίο καταλαμβάνει στο κύκλωμα, μπορεί να ενεργοποιείται απευθείας από τις ψηφιακές εξόδους του μικροελεγκτή. Αυτό διότι ο κάθε ψηφιακός ακροδέκτης του μικροελεγκτή μπορεί να τροφοδοτεί φορτία ρεύματος έως και 40mA ενώ το

πηνίο του ρελέ οπλίζεται στα 5Volt με τιμή ρεύματος μικρότερη των 10mA. Η σημαντική αυτή διαφορά στις τιμές των δύο ρευμάτων, η πολύ μικρή συχνότητα με την οποία αλλάζει η κατάσταση του πηνίου του ρελέ σε συνδυασμό και με τις εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες έγιναν, μας επιτρέπουν να θεωρήσουμε ως πλεονασμό την εφαρμογή κυκλωμάτων προστασίας των συγκεκριμένων ακροδεκτών του μικροελεγκτή από τα μεταβατικά φαινόμενα τα οποία λαμβάνουν χώρα κατά την εναλλαγή των καταστάσεων του πηνίου. Τέλος, επιλέχθηκε ειδικά το στοιχείο "RELAY", διότι παρουσιάζει σχεδόν μηδενική πτώση τάσης στις επαφές του κατά την αγωγή, πράγμα αναγκαίο, καθώς η τάση τροφοδοσίας του αισθητήρα αερίων αντενδείκνυται να έχει απόκλιση μεγαλύτερη του $\pm 0.1\text{Volt}$.

Τέλος, το στοιχείο "SWITCH" είναι ένας μικρού μεγέθους, συρόμενος SPDT (Single Pole, Double Throw) διακόπτης ο οποίος αντέχει σε φορτία ισχύος έως και 15W. Χρησιμοποιείται για την χειροκίνητη απομόνωση του κυκλώματος τροφοδοσίας από το υπόλοιπο κύκλωμα. Κάτι τέτοιο είναι χρήσιμο στη χειροκίνητη ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του κυκλώματος του κόμβου επιτρέποντας παράλληλα την φόρτιση της μπαταρίας, αν αυτό είναι επιθυμητό.

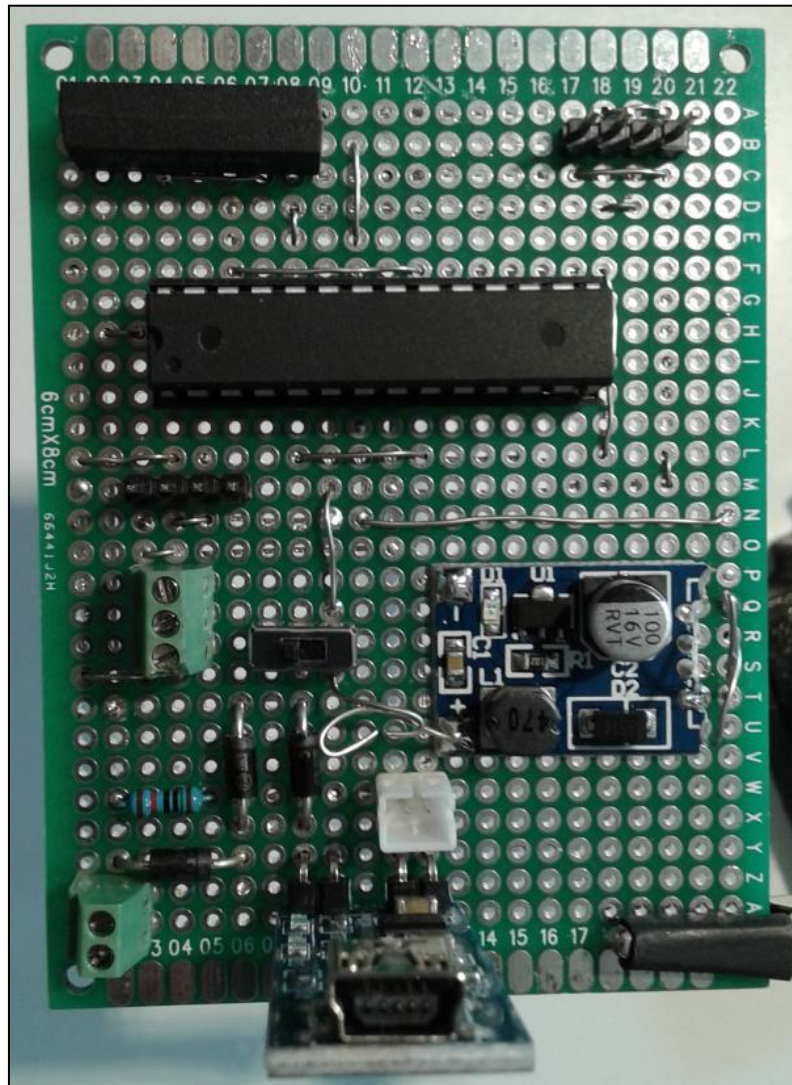
5.7 Κατασκευή του αισθητήριου κόμβου

Στη κατασκευή του αισθητήριου κόμβου και ειδικότερα στη κατασκευή του κυκλώματος χρειάστηκε η επιλογή μιας πλακέτας στην οποία κολλήθηκε το κύκλωμα. Με βάση τη τοπολογία των στοιχείων και τις διαστάσεις τους, επιλέχθηκε μια διάτρητη πλακέτα, διπλής όψευς με διαστάσεις 60x80mm. Έπειτα, χρειάστηκε ένα κουτί το οποίο φιλοξενεί το κύκλωμα, την επαναφορτιζόμενη μπαταρία, τους αισθητήρες και τη κεραία του κόμβου. Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένα βιδωτό κουτί κατασκευών από πλαστικό υλικό (ABS), διαστάσεων 150x110x70mm και με δείκτη προστασίας IP55 ο οποίος εγγυάται σχεδόν πλήρη προστασία από σωματίδια και ένα καλό επίπεδο προστασίας έναντι του νερού.

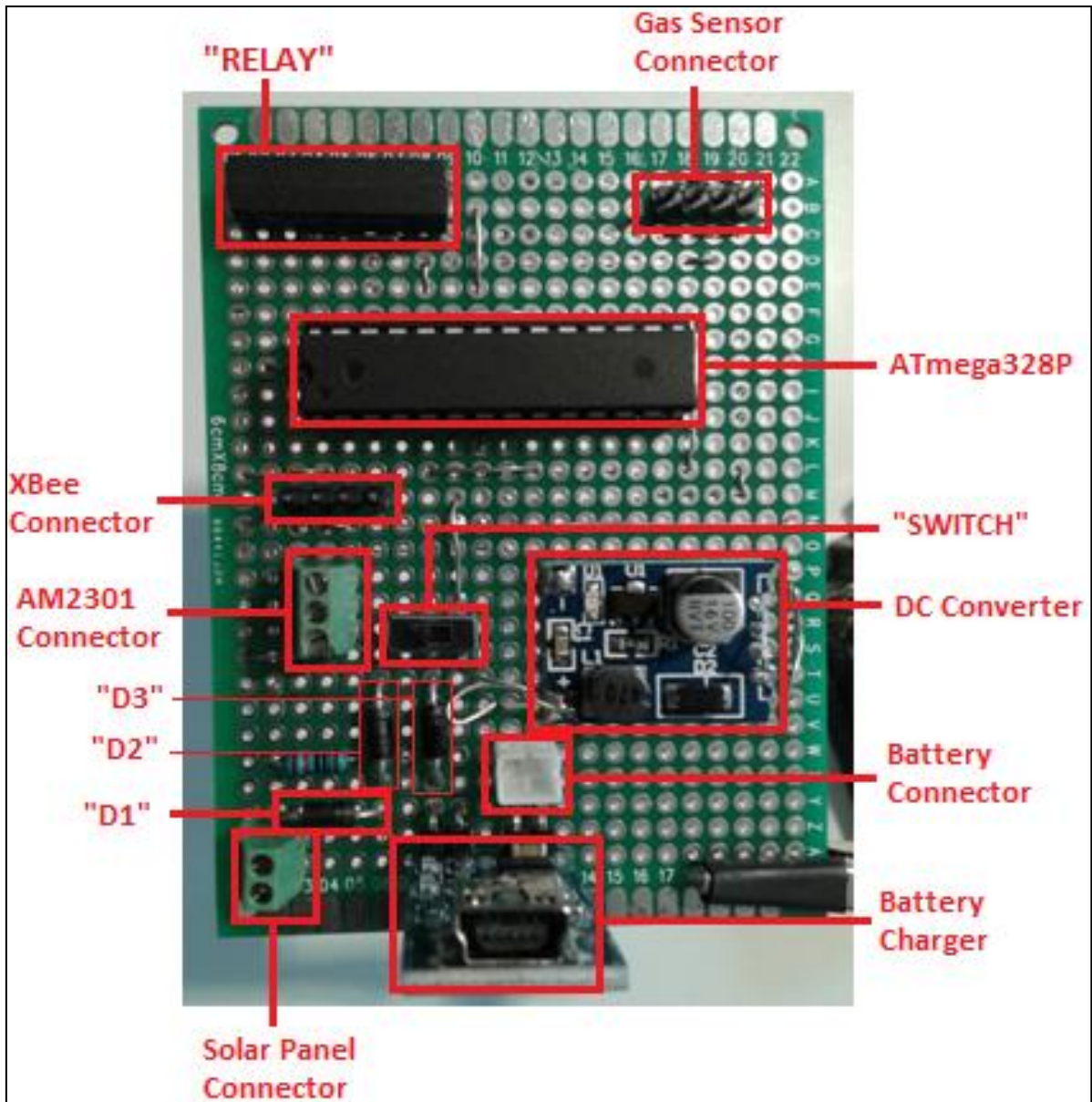
Κοντά στο άνω άκρο της πλάγιας αριστερής όψης του κουτιού ανοίχθηκε μια οπή διαμέτρου 7mm με σκοπό την εξαγωγή του RP-SMA συνδέσμου της XBee κεραίας από το κουτί, ώστε να θηλυκώσει εξωτερικά σε αυτόν μια προέκταση της κεραίας. Η συγκεκριμένη οπή ορίστηκε σε αυτή τη θέση ώστε η προέκταση της κεραίας να υπερβαίνει το κουτί σε ύψος και παράλληλα να μην εμποδίζει τη στερέωση ηλιακού πάνελ, στην περίπτωση σύνδεσής του. Ως προέκταση της κεραίας χρησιμοποιήθηκε η πανκατευθυντική κεραία εσωτερικού χώρου TL-ANT2405CL 5dBi της εταιρίας TP-Link. Εν συνεχεία, στο κέντρο της πλάγιας κάτω όψης του κουτιού ανοίχθηκε μία οπή διαμέτρου 18mm με σκοπό την εξαγωγή του αισθητήρα αερίων από το κουτί. Η ενέργεια αυτή είναι απαραίτητη διότι ο αισθητήρας δεν μπορεί να βρίσκεται στο εσωτερικό του στεγανοποιημένου κουτιού, καθώς έτσι δεν θα μπορούσαν να εισέρχονται και να ανιχνεύονται τα παράγωγα αέρια της φωτιάς. Ο αισθητήρας λόγω του κωνοειδούς σχήματός του και των διαστάσεών του θηλυκώνει στη συγκεκριμένη οπή επιτρέποντας σε ένα μικρό βαθμό την εισαγωγή αέρα και υγρασίας στο κουτί και φράσσοντας παράλληλα την εισαγωγή σωματιδίων σε αυτό. Η μερική εισαγωγή αέρα και υγρασίας στο κουτί είναι απαραίτητη καθώς ο αισθητήρας AM2301 σε αντίθετη περίπτωση δεν θα λάμβανε έγκυρες μετρήσεις θερμοκρασίας και υγρασίας. Παράλληλα, η φραγή των σωματιδίων είναι επιθυμητή καθώς σε περίπτωση ύπαρξης καπνού η εισαγωγή αυτών στο κουτί θα έφθειρε τα κυκλωματικά στοιχεία του αισθητήριου κόμβου. Πέραν αυτών, επιλέχθηκε η οπή να είναι προσανατολισμένη προς το έδαφος, προκειμένου κατά τη στερέωση του κόμβου να μην εισέρχεται νερό, όπως σε περίπτωση βροχής, και για την καλύτερη ανίχνευση των αερίων. Για μεγαλύτερη στεγανοποίηση της οπής κολλήθηκε ένα ακροφύσιο διαμέτρου 23mm και μήκους 33mm στο εξωτερικό μέρος του κουτιού.

Συνοψίζοντας, το συγκεκριμένο κατασκευαστικό σχέδιο του κόμβου είναι ενδεικτικό και όχι απόλυτα εφαρμόσιμο στις διάφορες καιρικές συνθήκες. Στις ακόλουθες εικόνες φαίνεται το κύκλωμα της Εικόνας 5.11 χωρίς τα περιφερειακά συνδεδεμένα (κεραίες, αισθητήρες κ.ά.), το ίδιο κύκλωμα με τα περιφερειακά

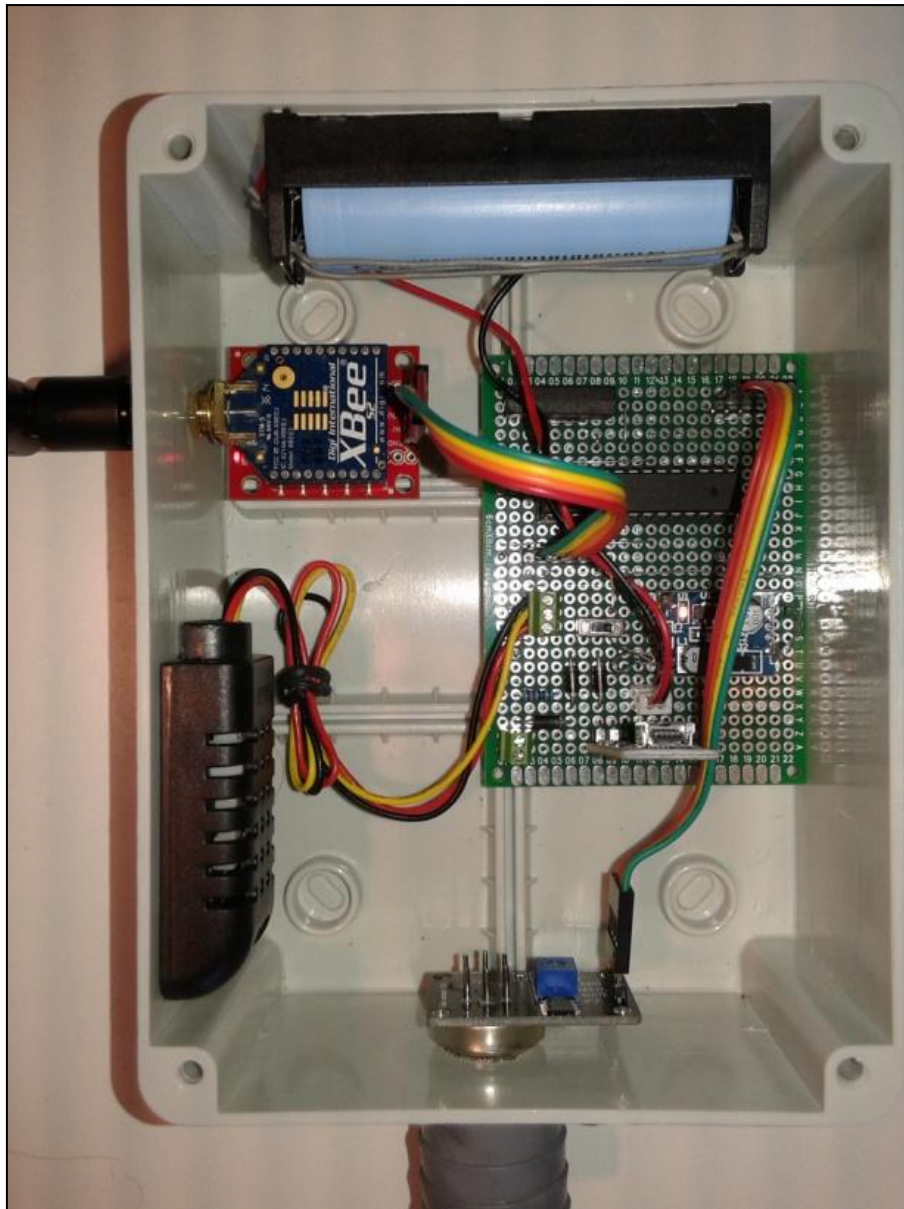
συνδεδεμένα και μέσα στο περιβάλλον κουτί και, τέλος, η τελική μορφή του αισθητήριου κόμβου.



Εικόνα 5.13. Το κύκλωμα της Εικόνας 5.11 χωρίς τα περιφερειακά συνδεδεμένα.



Εικόνα 5.14. Το κύκλωμα της Εικόνας 5.11 χωρίς τα περιφερειακά συνδεδεμένα και με επισημασμένα τα επιμέρους δομικά στοιχεία αυτού.



Εικόνα 5.15. Το κύκλωμα της ανωτέρω εικόνας με τα περιφερειακά συνδεδεμένα, μέσα στο περιβάλλον κουτί.



Εικόνα 5.16. Η τελική μορφή του αισθητήριου κόμβου.

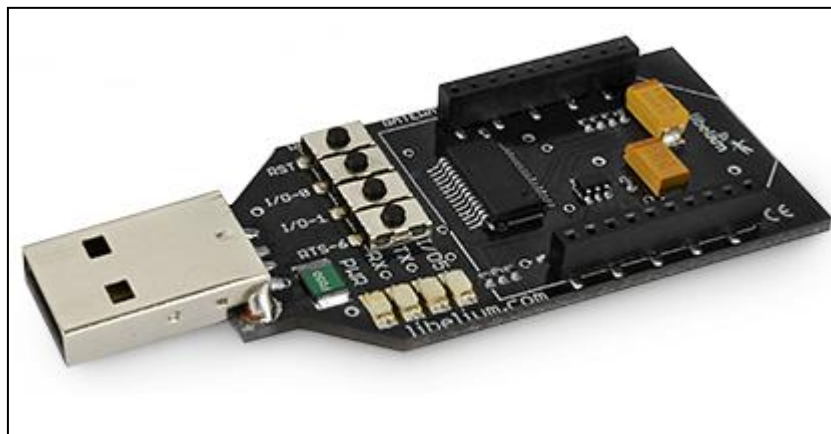
5.8 Επιλογή υλικού για τον σταθμό συλλογής δεδομένων

Ακολουθώντας την δομή του σταθμού η οποία παρουσιάζεται στην Ενότητα 4.2 και στην Εικόνα 4.1 γνωρίζουμε ότι ο σταθμός αποτελείται από δύο συνιστώσες, τον συντονιστή (coordinator) και τον εξυπηρετητή (server).

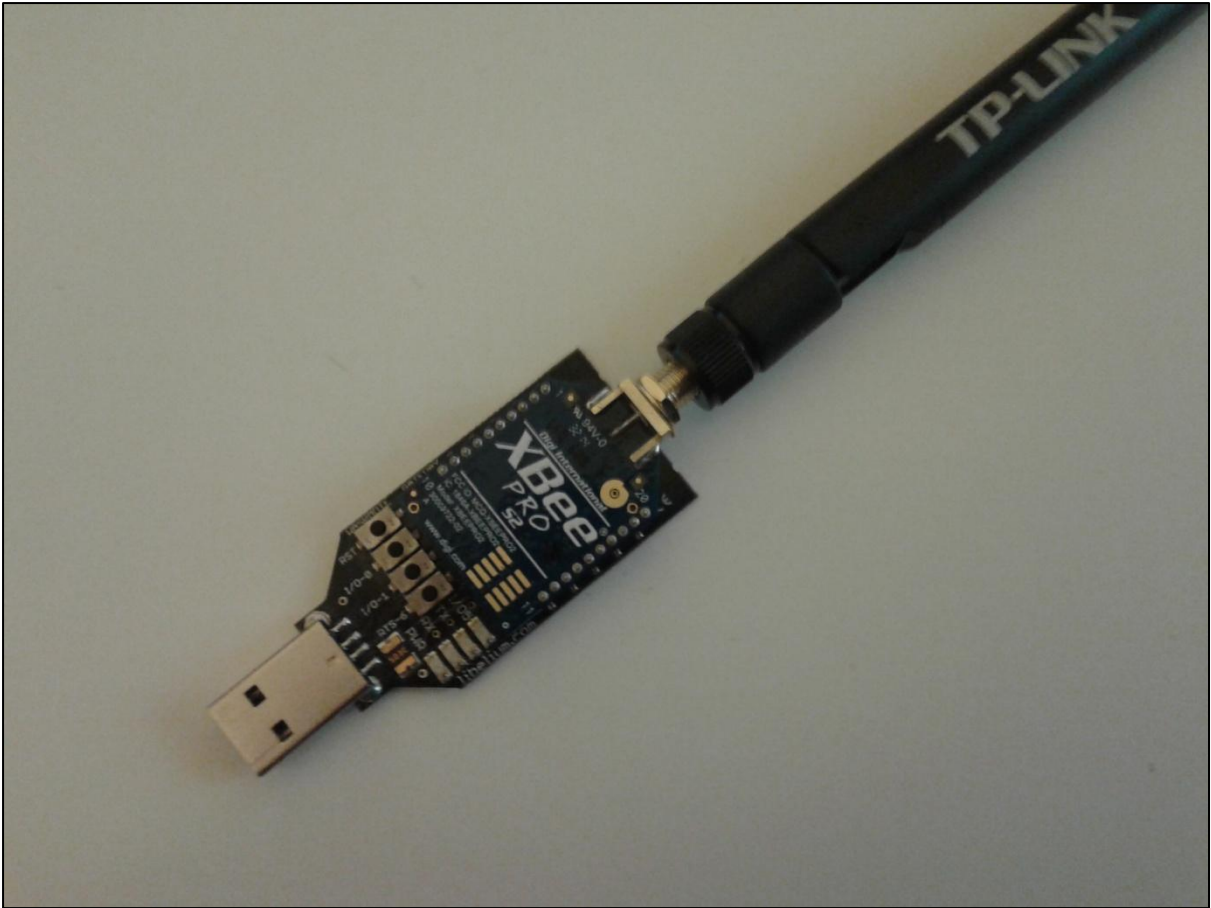
Η δομή του σταθμού είναι αρκετά απλή. Το λογισμικό του εξυπηρετητή είναι υπεύθυνο για την αποστολή εντολών, τη λήψη και την αποθήκευση μετρήσεων από τους κόμβους σε βάση δεδομένων καθώς και για την επικοινωνία και την ανταλλαγή δεδομένων με τους πελάτες (clients) οι οποίοι συνδέονται σε αυτόν. Η υλοποίηση και ο ρόλος του συγκεκριμένου λογισμικού αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Παρόλα αυτά για να είναι σε θέση ο εξυπηρετητής να επικοινωνεί με τους αισθητήριους κόμβους χρειάζεται έναν πομποδέκτη που να "μιλάει" την ίδια

γλώσσα με τον αντίστοιχο που είναι εγκατεστημένος στους κόμβους. Αυτή είναι η δουλειά του συντονιστή ο οποίος προωθεί τα μηνύματα μεταξύ του εξυπηρετητή και των κόμβων. Ως πομποδέκτης χρησιμοποιείται το XBee Pro 63mW RPSMA - Series 2B της εταιρίας Digi International, τα χαρακτηριστικά του οποίου φαίνονται στον Πίνακα 3.6 και ως προέκτασή του χρησιμοποιείται η πανκατευθυντική κεραία εσωτερικού χώρου TL-ANT2405CL 5dBi της εταιρίας TP-Link. Η επιλογή αυτή έγινε διότι δεν συντρέχει λόγος χαμηλής κατανάλωσης καθώς αυτός βρίσκεται σε μόνιμη τροφοδοσία. Παράλληλα, οι κόμβοι για τις αποστάσεις που αναγράφονται στην Εικόνα 4.2 αναμένεται να βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια του και έτσι δύνανται να στέλνουν κατευθείαν τα δεδομένα τους σ' αυτόν. Για τη σύνδεση του XBee με τον εξυπηρετητή μέσω της θύρας USB, αναγκαία είναι η ύπαρξη ενός USB-to-Serial αντάπτορα ο οποίος τροφοδοτεί τον συντονιστή (XBee συσκευή) και παράλληλα δίνει τη δυνατότητα με κατάλληλο λογισμικό της δημιουργίας σειριακής επικοινωνίας με αυτόν. Ο συντονιστής ρυθμίζεται σε AT λειτουργία, όπως και οι κόμβοι, για την αόρατη ζεύξη των κόμβων με τον εξυπηρετητή και η ρύθμισή τους παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 5.17. USB-to-Serial αντάπτορας της εταιρίας Libelium. [Πηγή: <https://goo.gl/4KQNRB>]



Εικόνα 5.18. Ο συντονιστής (coordinator) του σταθμού συλλογής δεδομένων.

6ο Κεφάλαιο: Υλοποίηση του Λογισμικού του Ολοκληρωμένου Συστήματος Παρακολούθησης Δασικών Περιοχών

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται αρχικά η διαδικασία ρύθμισης των XBee συσκευών, δηλαδή του συντονιστή και των αισθητήριων κόμβων. Στη συνέχεια, αναφέρονται ορισμένα στοιχεία σχετικά με το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία του προγράμματος του μικροελεγκτή και τη διαδικασία προγραμματισμού του, τα οποία αναλύονται ακολούθως. Τέλος, παρουσιάζονται και αναλύονται τα λογισμικά τα οποία υλοποιήθηκαν για τον εξυπερευνητή (server) και τον πελάτη (client).

6.2 Διαδικασία ρύθμισης των XBee συσκευών

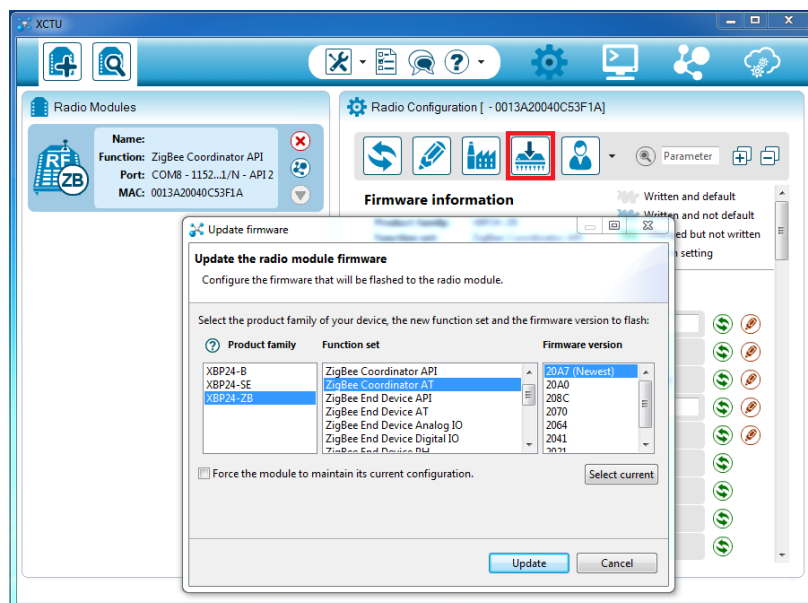
6.2.1 Εισαγωγή

Για τη διαδικασία ρύθμισης των XBee συσκευών απαραίτητος είναι ένας USB-to-Serial αντάπτορας καθώς και η νεότερη έκδοση του επίσημου λογισμικού XCTU της εταιρίας Digi International. Στην ακόλουθη διαδικασία χρησιμοποιούνται η έκδοση 6.1.3 του λογισμικού XCTU, ο αντάπτορας της Εικόνας 5.17 και οι XBee συσκευές οι οποίες επιλέχτηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Σημειώνεται ότι στην παρούσα ενότητα δεν παρουσιάζονται οι δυνατότητες του XCTU λογισμικού παρά μόνο η διαδικασία ρύθμισης των XBee συσκευών καθώς επίσης επεξηγούνται μόνο οι επιλογές οι οποίες αλλάζουν κατά τη διάρκεια της συγκεκριμένης διαδικασίας.

6.2.2 Ρύθμιση συντονιστή (ZigBee Coordinator)

Έχοντας συνδεθεί η XBee συσκευή η οποία προορίζεται για ZigBee Coordinator συσκευή μέσω του αντάπτορα σε μια θύρα USB, εκκινούμε το λογισμικό XCTU. Προσθέτοντας αρχικά και επιλέγοντας στη συνέχεια την συγκεκριμένη συσκευή στην εφαρμογή, φορτώνουμε την νεότερη έκδοση υλικολογισμικού (firmware) η οποία φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα επιλέγοντας πρώτα το κουμπί με το κόκκινο περίγραμμα.



Εικόνα 6.1. Επιλογή Firmware version 20A7 για ZigBee Coordinator σε AT λειτουργία.

Επιλέγοντας τη συγκεκριμένη έκδοση firmware η XBee συσκευή η οποία ανήκει στην οικογένεια προϊόντων XBP24-ZB ρυθμίζεται ως ZigBee Coordinator σε AT λειτουργία. Σημειώνεται ότι επιλέγεται η συγκεκριμένη firmware έκδοση από τη

λίστα Firmware version καθώς είναι η πιο πρόσφατη άρα και πιο αξιόπιστη έκδοση από τις υπόλοιπες.

Στη συνέχεια ρυθμίζονται ορισμένες μεταβλητές της εφαρμογής και, τέλος, γίνεται η φόρτωσή τους στην XBee συσκευή. Οι σημαντικότερες μεταβλητές είναι οι ακόλουθες ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν με τις προεπιλεγμένες τους τιμές:

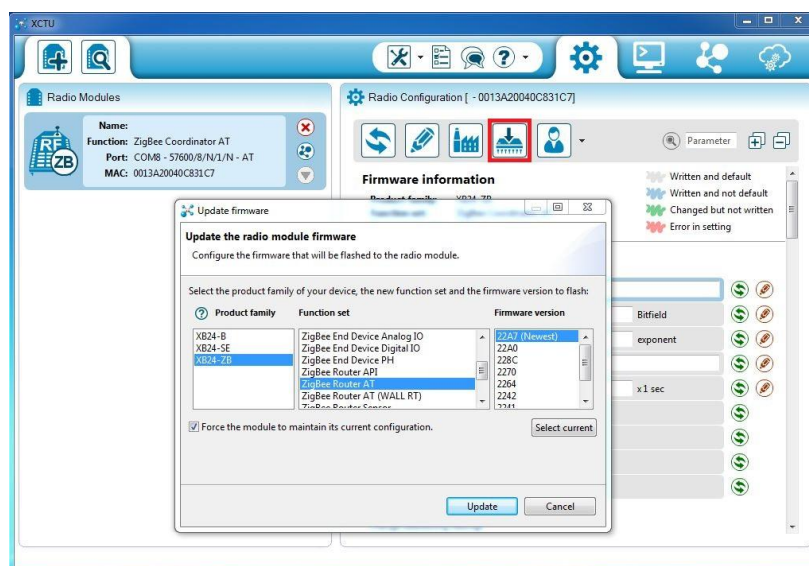
- **ID PAN** (*Personal Area Network*) *ID* = 111. Η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής μπορεί να είναι οποιαδήποτε, όμως όλες οι συσκευές ενός ZigBee δικτύου είναι απαραίτητο να θέτουν την ίδια τιμή στη συγκεκριμένη μεταβλητή.
- **DH** *Destination Address High* = 0 και **DL** *Destination Address Low* = FFFF. Οι τιμές των δύο μεταβλητών στη συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι οι παραπάνω διότι ο συντονιστής πρέπει να μεταδίδει τα μηνύματα του εξυπηρετητή σε όλους τους αισθητήριους κόμβους.
- **PL** *Power Level* = [4] και **PM** *Power Mode* = [1]. Οι τιμές των δύο μεταβλητών στην συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι οι παραπάνω διότι ο συντονιστής λόγω σταθερής τροφοδοσίας από τον εξυπηρετητή δεν έχει ζητήματα χαμηλής κατανάλωσης και παράλληλα πρέπει να έχει ισχυρό σήμα εκπομπής ώστε να μην διακόπτεται η επικοινωνία του με τους αισθητήριους κόμβους.
- **BD** *Baud Rate* = [6]. Η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής πρέπει επίσης να τεθεί ίδια στο πρόγραμμα των μικροελεγκτών, σε όλες τις XBee συσκευές του δικτύου καθώς και στο λογισμικό του εξυπηρετητή το οποίο επικοινωνεί σειριακά με τον συντονιστή για την διασφάλιση της σωστής επικοινωνίας μεταξύ όλων των συσκευών. Η συγκεκριμένη τιμή επιλέχθηκε έπειτα από δοκιμές ώστε το σύστημα στο σύνολο του να είναι απόλυτα σταθερό και λειτουργικό.
- **RO** *Packetization Timeout* = FF. Η συγκεκριμένη μεταβλητή ρυθμίζει πόσο χρόνο περιμένει η XBee συσκευή πριν από την αποστολή των δεδομένων. Εάν η τιμή της είναι πολύ μικρή, όπως η προεπιλεγμένη, μπορεί να

προκληθεί κατακερματισμός των δεδομένων. Με την αύξηση της τιμής της διασφαλίζεται ότι τα δεδομένα μένουν ενωμένα και αποστέλλονται σε μία μετάδοση. Για λόγους αξιοπιστίας και μη κατακερματισμού των ανταλλασσόμενων δεδομένων, θέτουμε την μεταβλητή στη μέγιστη τιμή της προσθέτοντας από την άλλη μεριά επιπλέον καθυστέρηση στην επικοινωνία.

Έχοντας τεθεί οι παραπάνω τιμές στις συγκεκριμένες μεταβλητές επιλέγουμε το κουμπί εκκίνησης της διαδικασίας φόρτωσης. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία φόρτωσης η XBee συσκευή είναι έτοιμη να συνδεθεί στον εξυπηρετητή.

6.2.3 Ρύθμιση πομποδέκτη αισθητήριων κόμβων (ZigBee Router)

Έχοντας συνδεθεί η XBee συσκευή η οποία προορίζεται για κεραία του αισθητήριου κόμβου μέσω του αντάπτορα σε μια θύρα USB, εκκινούμε το λογισμικό XCTU. Προσθέτοντας αρχικά και επιλέγοντας στη συνέχεια την συγκεκριμένη συσκευή στην εφαρμογή, φορτώνουμε την νεότερη έκδοση firmware η οποία φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα επιλέγοντας πρώτα το κουμπί με το κόκκινο περίγραμμα.



Εικόνα 6.2. Επιλογή Firmware version 22A7 για ZigBee Router σε AT λειτουργία.

Επιλέγοντας τη συγκεκριμένη έκδοση firmware η XBee συσκευή η οποία ανήκει στην οικογένεια προϊόντων XB24-ZB ρυθμίζεται ως ZigBee Router σε AT λειτουργία. Οι αισθητήριοι κόμβοι ρυθμίστηκαν ως ZigBee Router συσκευές, και όχι ως ZigBee End Devices, διότι έπειτα από δοκιμές βρέθηκε πως η σταθερότητα και η ακεραιότητα της επικοινωνίας μεταξύ κόμβων και συντονιστή ήταν καλύτερη όταν οι πρώτοι ήταν ρυθμισμένοι ως ZigBee Router συσκευές. Και εδώ για λόγους αξιοπιστίας επιλέγεται η νεότερη firmware έκδοση.

Στη συνέχεια ρυθμίζονται ορισμένες μεταβλητές της εφαρμογής και, τέλος, γίνεται η φόρτωσή τους στην XBee συσκευή. Οι σημαντικότερες μεταβλητές είναι οι ακόλουθες ενώ οι υπόλοιπες παραμένουν με τις προεπιλεγμένες τους τιμές:

- **ID PAN** (*Personal Area Network*) *ID* = 111. Η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής ρυθμίζεται στην ίδια τιμή με την αντίστοιχη του συντονιστή.
- **DH** *Destination Address High* = 0 και **DL** *Destination Address Low* = 0. Οι τιμές των δύο μεταβλητών στην συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι 0 διότι οι Router συσκευές πρέπει να επικοινωνούν μόνο με τον συντονιστή και όχι μεταξύ τους με αναμετάδοση (broadcast).
- **PL** *Power Level* = [0] και **PM** *Power Mode* = [0]. Οι τιμές των δύο μεταβλητών στην συγκεκριμένη εφαρμογή πρέπει να είναι [0], δηλαδή ελάχιστες, διότι οι αισθητήριοι κόμβοι προβλέπονται να βρίσκονται μέσα στην εμβέλεια του συντονιστή. Το γεγονός αυτό δίνει στον πομποδέκτη την δυνατότητα ελαχιστοποίησης της ισχύος εκπομπής με συνέπεια την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος της XBee συσκευής.
- **BD** *Baud Rate* = [6]. Η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής ρυθμίζεται στην ίδια τιμή με την αντίστοιχη του συντονιστή.
- **RO** *Packetization Timeout* = FF. Η τιμή της συγκεκριμένης μεταβλητής ρυθμίζεται στην ίδια τιμή με την αντίστοιχη του συντονιστή και για τον ίδιο λόγο.
- **SM** *Sleep Mode* = [0]. Η συγκεκριμένη μεταβλητή ρυθμίζει την XBee συσκευή ώστε να μην απενεργοποιείται ποτέ καθώς σε αντίθετη περίπτωση θα είχε

περιοδικές μεταβάσεις ανάμεσα στην κατάσταση "ύπνου" και "ξύπνιου" με συνέπεια να υπήρχε μεγάλη πιθανότητα ο αισθητήριο κόμβος να μην λάβει μηνύματα του εξυπηρετητή.

Έχοντας τεθεί οι παραπάνω τιμές στις συγκεκριμένες μεταβλητές επιλέγουμε το κουμπί εκκίνησης της διαδικασίας φόρτωσης. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία φόρτωσης η XBee συσκευή είναι έτοιμη να συνδεθεί στο κύκλωμα του αισθητήριου κόμβου.

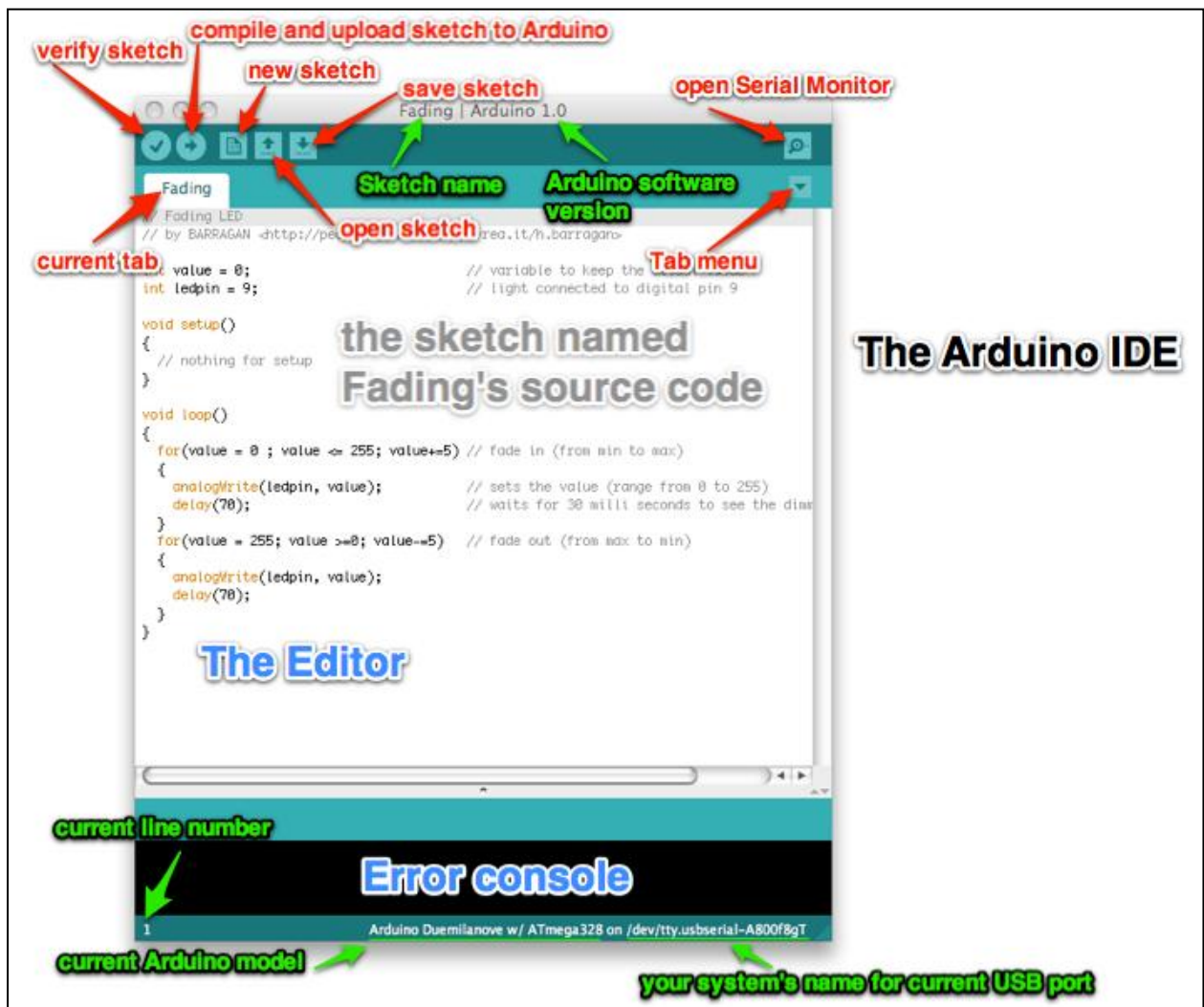
6.3 Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE

Το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE είναι μία εφαρμογή γραμμένη σε Java η οποία λειτουργεί σε πολλές πλατφόρμες και προέρχεται από το IDE των γλωσσών προγραμματισμού Processing και Wiring [20]. Πρόκειται για ένα περιβάλλον εύχρηστο για όσους δεν είναι εξοικειωμένοι με τον προγραμματισμό και διανέμεται δωρεάν από την επίσημη ιστοσελίδα της πλατφόρμας Arduino. Αποτελεί ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κώδικα γραμμένου σε C++ με χαρακτηριστικά αντίστοιχα με εκείνα που περιλαμβάνουν άλλα γνωστά IDE καθώς επίσης είναι σε θέση να μεταγλωττίζει και να φορτώνει προγράμματα στην πλακέτα με ένα μόνο κλικ. Δεν υπάρχει συνήθως καμία ανάγκη να υποστούν επεξεργασία τα αρχεία Makefiles ή να τρέξουν τα προγράμματα σε περιβάλλον γραμμής εντολών. Ένα πρόγραμμα ή κώδικας ο οποίος γράφεται για μια Arduino πλακέτα ονομάζεται σκίτσο (sketch).

Οι χρήστες πρέπει μόνο να ορίσουν δύο διαδικασίες για να κάνουν ένα πρόγραμμα κυκλικής εκτέλεσης [20]:

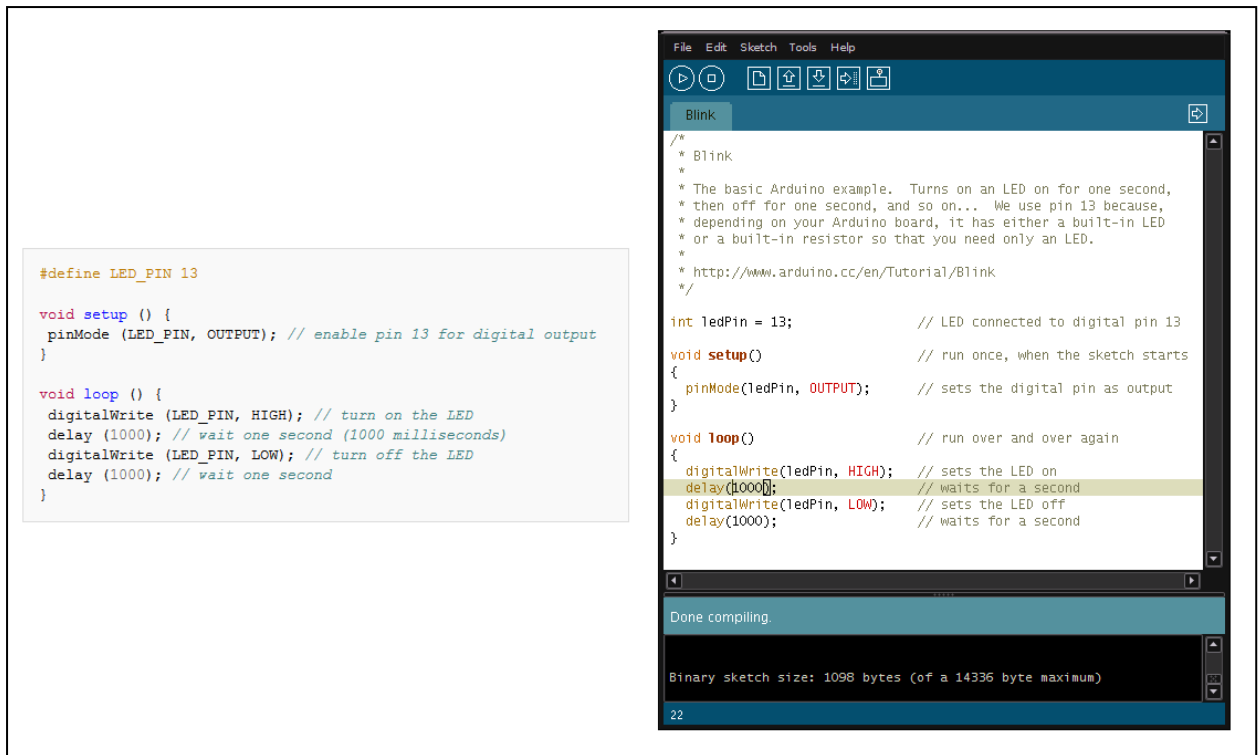
- **setup()** - μία συνάρτηση η οποία εκτελείται μία φορά στην αρχή του προγράμματος και αρχικοποιεί ρυθμίσεις και μεταβλητές
- **loop()** - μία συνάρτηση η οποία καλείται επαναλαμβανόμενα μετά την setup() μέχρι να απενεργοποιηθεί η πλακέτα

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται λεπτομερώς και με επεξηγηματικές λεζάντες η μορφή της εφαρμογής Arduino IDE.



Εικόνα 6.3. Η μορφή της εφαρμογής Arduino IDE. [Πηγή: <http://www.hacdc.org/summer-school-2013/>]

Ένα τυπικό πρώτο πρόγραμμα για έναν μικροελεγκτή είναι να αναβοσβήνει απλά έναν ενδείκτη LED [20]. Για το σκοπό αυτό, στο περιβάλλον Arduino ο χρήστης μπορεί να γράψει ένα πρόγραμμα όπως αυτό που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 6.4. Πρόγραμμα (αριστερά) στο περιβάλλον Arduino (δεξιά) για την αναλαμπή ενός LED [20].

Το συγκεκριμένο παράδειγμα αναφέρεται σε ένα χαρακτηριστικό το οποίο διαθέτουν οι περισσότερες πλακέτες Arduino, ένα LED και μία αντίσταση, τα οποία συνδέονται μεταξύ του ακροδέκτη 13 και της γείωσης και αποτελούν ένα βολικό χαρακτηριστικό για πολλά απλά τεστ. Ο προηγούμενος κώδικας δεν αναγνωρίζεται απευθείας από έναν κανονικό μεταγλωττιστή C++ ως έγκυρο πρόγραμμα. Όταν ο χρήστης κάνει κλικ στο κουμπί "Upload" στο IDE, ένα αντίγραφο του κώδικα γράφεται σε ένα προσωρινό αρχείο με ένα παραπάνω include στην κορυφή του και μία πολύ απλή συνάρτηση main() στο τέλος για να φτιάξει ένα έγκυρο C++ πρόγραμμα.

Το Arduino IDE χρησιμοποιεί την GNU εργαλειοθήκη μαζί με το AVR Libc για να μεταγλωττίζει προγράμματα καθώς και το avrdude για να φορτώνει τα προγράμματα αυτά στην πλακέτα [20]. Δεδομένου ότι η πλατφόρμα Arduino χρησιμοποιεί Atmel μικροελεγκτές, τα περιβάλλοντα ανάπτυξης AVR Studio της

Atmel ή η νεότερη έκδοση του Atmel Studio μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη λογισμικού για το Arduino.

6.4 Διαδικασία προγραμματισμού του μικροελεγκτή

Η διαδικασία φόρτωσης του προγράμματος εκκίνησης (bootloader) καθώς και του προγράμματος το οποίο εκτελείται στον μικροελεγκτή παρέχεται από την επίσημη ιστοσελίδα της πλατφόρμας Arduino [21].

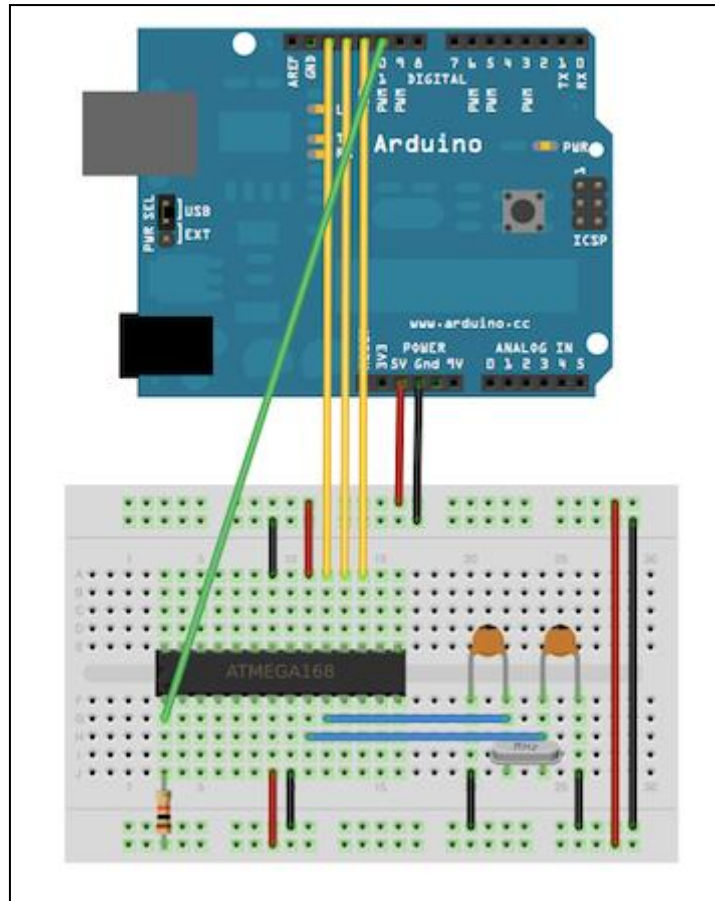
Αρχικά, το bootloader πρόγραμμα είναι ουσιαστικά ένα .hex αρχείο το οποίο εκτελείται όταν ενεργοποιείται ο μικροελεγκτής και είναι πολύ παρόμοιο με το πρόγραμμα BIOS το οποίο εκτελείται σε έναν υπολογιστή [22]. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα ελέγχει αν ο υπολογιστής προσπαθεί να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή. Αν αυτό συμβεί τότε λαμβάνει το πρόγραμμα από τον υπολογιστή και το αποθηκεύει σε μια συγκεκριμένη θέση στη μνήμη του μικροελεγκτή ώστε αυτό να μην αντικατασταθεί. Άρα ο λόγος για τον οποίο όταν γίνεται προσπάθεια φόρτωσης κώδικα το λογισμικό Arduino επανεκκινεί τον μικροελεγκτή, είναι η επανεκκίνηση του bootloader. Από την άλλη μεριά, εάν ο υπολογιστής δεν προσπαθήσει να φορτώσει κώδικα, τότε ωθεί τον μικροελεγκτή στο να εκτελεί επανειλημμένα τον κώδικα ο οποίος είναι ήδη αποθηκευμένος στη μνήμη του έως ότου αποσυνδεθεί από την τροφοδοσία του.

Για τη διαδικασία φόρτωσης του bootloader στον μικροελεγκτή χρειάστηκαν τα ακόλουθα:

- μια πλακέτα Arduino Uno Rev3
- η έκδοση 1.0.5 του λογισμικού Arduino IDE
- το αρχείο bootloader Breadboard1-0-x.zip [21]
- ένα breadboard
- ένας μικροελεγκτής ATmega328P-PU
- ένας κρύσταλλος συχνότητας 16 MHz
- μία αντίσταση τιμής 10KΩ

- 2 κεραμικοί πυκνωτές τιμής 22pF
- μερικά jumper wires

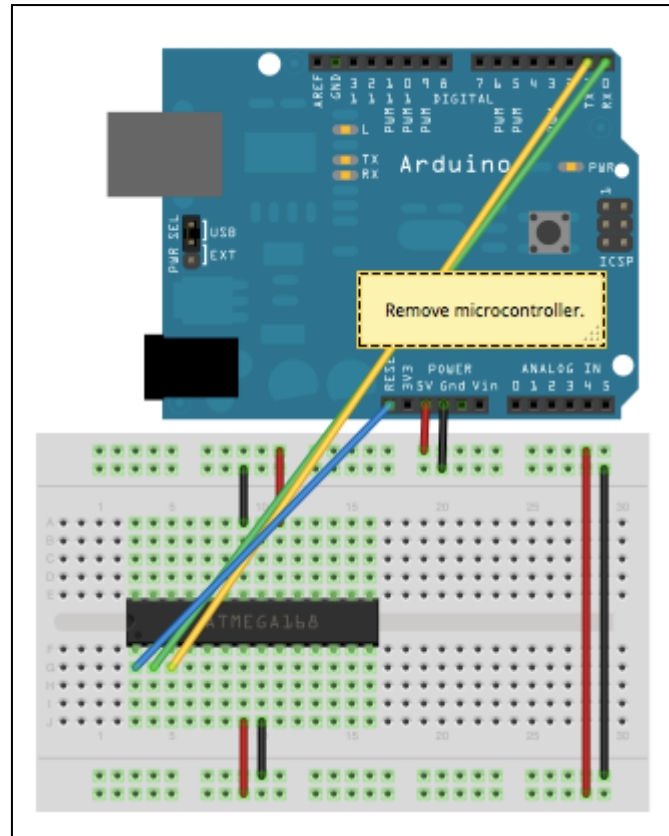
Έχοντας εγκαταστήσει την έκδοση 1.0.5 του λογισμικού Arduino IDE, το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία ενός υποφακέλου με όνομα "hardware" στον Arduino sketchbook φάκελο και στη συνέχεια η αποσυμπίεση του αρχείου Breadboard1-0-x.zip σε αυτόν [21]. Ο υποφάκελος αυτός πλέον περιέχει ένα ειδικά ρυθμισμένο αρχείο, το boards.txt, το οποίο είναι υπεύθυνο για τη λειτουργία του μικροελεγκτή στα 8MHz χωρίς τη χρήση επιπλέον εξωτερικών ρολογιών. Το όνομα της νέας αυτής πλακέτας είναι "ATmega328 on a breadboard (8 MHz internal clock)" και αξιοποιείται μέσα στο Arduino IDE. Στη συνέχεια συνδέουμε την Arduino Uno πλακέτα στον υπολογιστή μέσω της θύρας USB και εκκινούμε το Arduino IDE. Επιλέγουμε τα *Tools>Board>Arduino Uno* και *Tools>Serial Port>"USB θύρα στην οποία είναι συνδεδεμένη η πλακέτα"* και τέλος ανοίγουμε το παράδειγμα ArduinoISP πηγαίνοντας στο *File>Examples>ArduinoISP* το οποίο και φορτώνουμε στην πλακέτα επιλέγοντας "Upload". Επιλέγουμε *Tools>Board> ATmega328 on a breadboard (8 MHz internal clock)* και *Tools>Board>Programmer> Arduino as ISP*, συνδέουμε τον μικροελεγκτή με την πλακέτα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα και επιλέγουμε *Tools>Burn Bootloader* για να ξεκινήσει η διαδικασία.



Εικόνα 6.5. Σύνδεση ATmega328P (ίδια διαδικασία με αυτή του ATmega168) και Arduino Uno για την φόρτωση του bootloader [21].

Έχοντας πλέον φορτώσει το bootloader στον μικροελεγκτή προχωρούμε στην διαδικασία φόρτωσης του προγράμματος το οποίο θα εκτελείται σε αυτόν [21]. Αρχικά, ανοίγουμε το sketch του προγράμματος το οποίο θέλουμε να φορτώσουμε διατηρώντας τις ίδιες ρυθμίσεις Board, Serial Port και Programmer από το μενού Tools με τη προηγούμενη διαδικασία. Έπειτα, αφαιρούμε από το παραπάνω κύκλωμα του breadboard τους 2 πυκνωτές 22pF, την αντίσταση 10KΩ, τον κρύσταλλο 16MHz και από την πλακέτα Arduino Uno τον μικροελεγκτή της. Σημειώνεται ότι ο μικροελεγκτής της πλακέτας Arduino Uno είναι επίσης ένας ATmega328P αλλά δεν σχετίζεται με τον μικροελεγκτή τον οποίο προγραμματίζουμε παρόλο που είναι ίδιου τύπου και οι δύο.

Τέλος, συνδέουμε τον μικροελεγκτή με την πλακέτα όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα και επιλέγουμε "Upload" για να ξεκινήσει η διαδικασία.



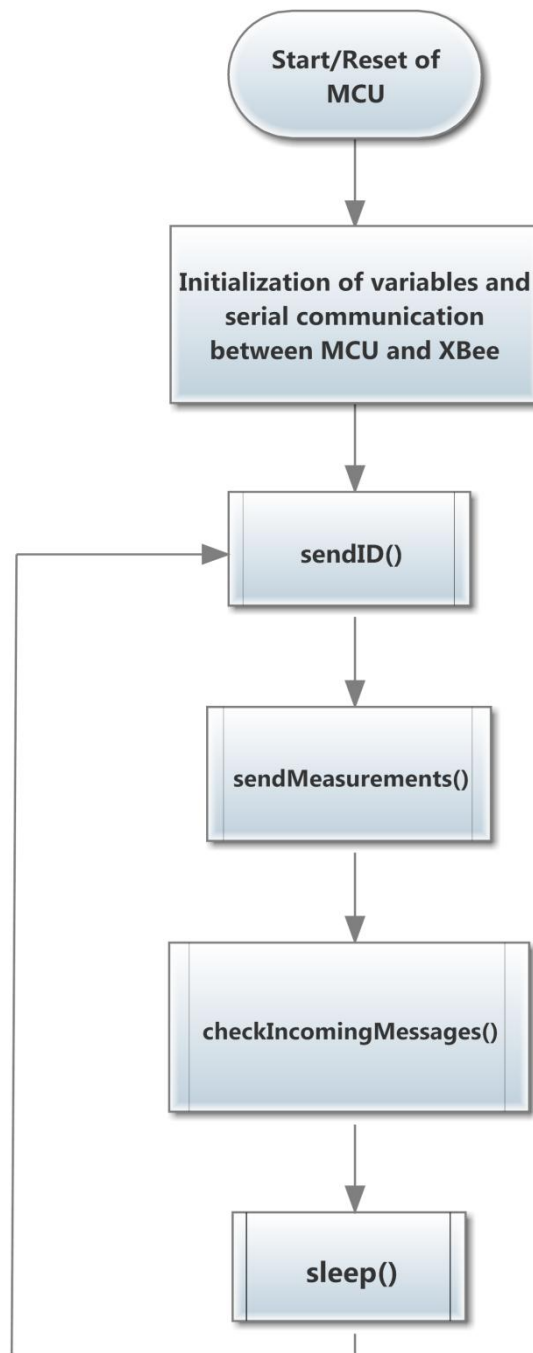
Εικόνα 6.6. Σύνδεση ATmega328P (ίδια διαδικασία με αυτή του ATmega168) και Arduino Uno για την φόρτωση του προγράμματος [21].

Έχοντας φορτώσει πλέον το bootloader και το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή μπορούμε να τον αποσυνδέσουμε από το παραπάνω κύκλωμα και να τον τοποθετήσουμε στο κύκλωμα του αισθητήριου κόμβου.

6.5 Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή

Το πρόγραμμα το οποίο εκτελείται επαναλαμβανόμενα στον μικροελεγκτή κατά την διάρκεια λειτουργίας του αποτελείται από τέσσερις διαδικασίες. Οι συγκεκριμένες διαδικασίες περιλαμβάνουν ελέγχους οι οποίοι εξετάζουν αν πρέπει να εκτελεστούν οι εντολές που περιέχονται μέσα σε αυτές ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται ο κόμβος (βλ. Ενότητα 4.4).

Πιο συγκεκριμένα, οι εντολές τις οποίες περιέχει η διαδικασία "sendId()" εκτελούνται μόνο όταν ο κόμβος βρίσκεται στην αρχική κατάσταση με σκοπό τη σύνδεσή του στον εξυπηρετητή. Οι εντολές τις οποίες περιέχει η διαδικασία "sendMeasurements()" εκτελούνται μόνο όταν ο κόμβος βρίσκεται στο τέλος της ενεργούς κατάστασης με σκοπό την επαναλαμβανόμενη αποστολή των μετρήσεων του στον εξυπηρετητή. Η διαδικασία "checkIncomingMessages()" ελέγχει και εκτελείται στην περίπτωση που υπάρχει εισερχόμενο μήνυμα από τον εξυπηρετητή. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι υπεύθυνη για τις καταστάσεις στις οποίες μεταβαίνει ο κόμβος ανάλογα με τα μηνύματα που αναγνωρίζει από τον εξυπηρετητή. Τέλος, η διαδικασία "sleep()" ελέγχει αν ο κόμβος πληροί τις προϋποθέσεις για να μεταβεί στην αδρανή κατάσταση. Η σειρά κλήσης των συγκεκριμένων διαδικασιών στον μικροελεγκτή φαίνεται στο διάγραμμα ροής που παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 6.7. Γενικό διάγραμμα ροής του προγράμματος το οποίο εκτελείται στον μικροελεγκτή.

Όπως μπορεί να φανεί στην εικόνα, μετά την εκκίνηση της μονάδας του μικροελεγκτή, αρχικοποιούνται οι μεταβλητές του προγράμματος και οι ακροδέκτες του μικροελεγκτή ώστε να χρησιμοποιηθούν έπειτα κατάλληλα από το πρόγραμμά του. Στη συνέχεια, εκκινεί η σειριακή επικοινωνία (UART) μεταξύ του μικροελεγκτή και της XBee κεραίας του κόμβου. Οι παράμετροι της σειριακής επικοινωνίας και για τους δύο ρυθμίζονται ως εξής:

- αριθμός Data bits: 8 bits
- Synchronization bits: 1 start bit, 1 stop bit
- Parity bit δεν υπάρχει
- Baud Rate: 57600 bps

Μετά την ολοκλήρωση των παραπάνω διαδικασιών, ο κόμβος δεδομένου ότι δεν έχει συνδεθεί στον εξυπηρετητή βρίσκεται στην αρχική κατάσταση, όπου αποστέλλει επαναλαμβανόμενα μία συμβολοσειρά αναγνώρισης σε αυτόν μέσω της διαδικασίας "sendID()". Η συμβολοσειρά η οποία αποστέλλεται έχει την ακόλουθη γενική μορφή:

"Started Node " + nodeId + " " + nodeType + " Latitude: " + latitude + " Longitude: " + longitude

δηλαδή περιλαμβάνει ένα πρόθεμα ένδειξης εκκίνησης του κόμβου ("Started Node") συνοδευόμενο από την μεταβλητή (nodeId) η οποία περιέχει το ID του κόμβου. Έπειτα, περιέχεται η μεταβλητή με τον τύπο του κόμβου (nodeType) η οποία ανάλογα με τη ρύθμιση της XBee κεραίας μπορεί να λαμβάνει μια από τις τιμές "Router", "EndDevice" ή "Coordinator". Τέλος, στη συμβολοσειρά περιλαμβάνονται οι πληροφορίες των γεωγραφικών συντεταγμένων του κόμβου, αρχικά το γεωγραφικό πλάτος ("Latitude:") με την αντίστοιχη τιμή της μεταβλητής latitude και στη συνέχεια το γεωγραφικό μήκος ("Longitude:") με την αντίστοιχη τιμή της μεταβλητής longitude. Για παράδειγμα, οι δύο κόμβοι του προς υλοποίηση συστήματος, με βάση τα σημεία τοποθέτησης τους, αποστέλλουν τις ακόλουθες συμβολοσειρές:

"Started Node 1 Router Latitude: 37.978100 Longitude: 23.779893"
--

"Started Node 2 Router Latitude: 37.978636 Longitude: 23.780322"
--

Η επαναληψιμότητα της αποστολής είναι απαραίτητη, διότι, αφενός, είναι πιθανό ο συντονιστής να βρεθεί για κάποιο τεχνικό λόγο εκτός λειτουργίας και, αφετέρου, είναι πιθανό στον συντονιστή να υπάρχει υψηλή εισροή δεδομένων από όλους τους κόμβους, με αποτέλεσμα την αποτυχία λήψης κάποιων συμβολοσειρών σε αυτόν. Ο χρόνος αναμονής μεταξύ δύο διαδοχικών αποστολών κυμαίνεται μεταξύ

1000 και 3000 milliseconds. Η περίοδος αποστολής σκόπιμα δεν είναι σταθερή, προκειμένου να αποφευχθεί η ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων από πολλαπλούς κόμβους, πράγμα το οποίο θα αύξανε την πιθανότητα αποτυχίας λήψης κάποιων συμβολοσειρών στον εξυπηρετητή.

Στη συνέχεια μόλις ο εξυπηρετητής λάβει το αίτημα του κόμβου αποστέλλει σε όλους τους κόμβους μια συμβολοσειρά (connected command) η οποία είναι η:

"Connected "+ nodeId

δηλαδή η "Connected" συνοδευόμενη από το ID του προς σύνδεση κόμβου. Μόλις η συγκεκριμένη εντολή φτάσει στους κόμβους τότε ο κάθε κόμβος χρησιμοποιώντας την διαδικασία "checkIncomingMessages()" ελέγχει αν ο εξυπηρετητής απευθύνεται σε αυτόν συγκρίνοντας το ID που περιλαμβάνει η εντολή με το δικό του. Αν δεν απευθύνεται σε αυτόν τότε απλά αγνοεί την εντολή και μένει στη τρέχουσα κατάστασή του. Αν απευθύνεται όμως σε αυτόν τότε μέσα στη διαδικασία "checkIncomingMessages()" αλλάζει η τιμή της μεταβλητής η οποία είναι υπεύθυνη να θυμάται αν ο κόμβος έχει συνδεθεί ή όχι στον εξυπηρετητή, ώστε να μην εκτελεστεί ξανά η διαδικασία "sendId()".

Αμέσως μετά την "checkIncomingMessages()" καλείται η διαδικασία "sleep()" η οποία ελέγχει αν ο κόμβος έχει συνδεθεί, αν δεν υπάρχει άλλο μήνυμα από τον εξυπηρετητή και αν δεν βρίσκεται στην ενεργή κατάσταση. Μόνο όταν ικανοποιούνται όλες οι ανωτέρω συνθήκες μεταβαίνει ο κόμβος στην αδρανή κατάσταση.

Προτού, όμως, μεταβεί ο κόμβος στην αδρανή κατάσταση, μέσα στη διαδικασία "sleep()" ανατίθεται στον ακροδέκτη 4 (βλ. Εικόνα 5.11) του μικροελεγκτή να λειτουργήσει ως ακμοπυροδότητος ακροδέκτης (interrupt pin) μέχρι το επερχόμενο UART μήνυμα του εξυπηρετητή. Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης, ο οποίος είναι βραχυκυκλωμένος με τον ακροδέκτη 2 (RX pin), επαναφέρει σε λειτουργία τον μικροελεγκτή μόλις υπάρξει σε αυτόν μετάβαση από 5 σε 0Volt, δηλαδή μόλις υπάρξει start bit ή αλλιώς εισερχόμενο UART μήνυμα από τον εξυπηρετητή. Έπειτα από την ανάθεση του ακροδέκτη 4, ο μικροελεγκτής μέσω

μιας εντολής "κοιμάται" και το ρεύμα το οποίο καταναλώνει μειώνεται από τα 8.5mA στα 18.7μΑ. Το ελάχιστο αυτό ρεύμα είναι απαραίτητο για να διατηρηθούν οι μεταβλητές του προγράμματος και η θέση της τελευταίας εντολής που εκτελέστηκε αλλά και για τον σωστό εντοπισμό αλλαγής τάσης στον ακροδέκτη 4. Με την ύπαρξη start bit στον ακροδέκτη 2 πυροδοτείται ταυτοχρόνως ο ακροδέκτης 4 και ο μικροελεγκτής επανέρχεται σε λειτουργία εκτελώντας την αμέσως επόμενη εντολή από εκείνη στην οποία είχε σταματήσει, έχοντας διατηρήσει παράλληλα και τις τελευταίες τιμές των μεταβλητών του προγράμματος. Η αμέσως επόμενη εντολή σταματά τη λειτουργία του ακροδέκτη 4 ως ακμοπυροδότητος για να μην πυροδοτείται σε όλες τις επόμενες μεταβάσεις από 5 σε 0Volt του UART πακέτου. Και τέλος, έχοντας πλέον "ξυπνήσει" ο μικροελεγκτής, το πρόγραμμα βγαίνει από τη διαδικασία "sleep()" και περνώντας τις δύο πρώτες διαδικασίες εισέρχεται στην "checkIncomingMessages()" για να διαβάσει τη νέα εισερχόμενη συμβολοσειρά.

Μία συμβολοσειρά η οποία μπορεί να σταλεί από το λογισμικό του εξυπηρετητή είναι η συμβολοσειρά επανέναρξης (reset command). Η συγκεκριμένη συμβολοσειρά αν ο εξυπηρετητής απευθύνεται σε όλους τους κόμβους είναι η:

"RST"

αλλιώς αν απευθύνεται σε συγκεκριμένο κόμβο είναι η:

"RST "+ nodeId

δηλαδή παραμένει η προαναφερθείσα συνοδευόμενη από το ID του κόμβου. Μόλις οι κόμβοι ή ο κόμβος, αντίστοιχα, λάβουν και αναγνωρίσουν τη συμβολοσειρά στη διαδικασία "checkIncomingMessages()", μεταβαίνουν από οποιαδήποτε κατάσταση βρίσκονται στην αρχική. Συγκεκριμένα καλείται μια συνάρτηση η οποία εκκινεί το πρόγραμμα του μικροελεγκτή από την αρχή, αρχικοποιώντας έτσι τις μεταβλητές του και την σειριακή επικοινωνία με την XBee κεραία. Αυτό έχει ως συνέπεια ο κόμβος να ξαναρχίσει να αποστέλλει αιτήματα σύνδεσης προς τον εξυπηρετητή μέσω της διαδικασίας "sendId()".

Επιπρόσθετα, μια ακόμα συμβολοσειρά η οποία μπορεί να σταλεί από το λογισμικό του εξυπηρετητή είναι η συμβολοσειρά αδρανοποίησης (idle command). Η συγκεκριμένη συμβολοσειρά αν ο εξυπηρετητής απευθύνεται σε όλους τους κόμβους είναι η:

```
"IDLE"
```

αλλιώς αν απευθύνεται σε συγκεκριμένο κόμβο παραμένει η προαναφερθείσα συνοδευόμενη από το ID του κόμβου:

```
"IDLE " + nodeId
```

Μόλις οι κόμβοι ή ο κόμβος αντίστοιχα λάβουν και αναγνωρίσουν τη συμβολοσειρά στη διαδικασία "checkIncomingMessages()", αλλάζουν τις τιμές συγκεκριμένων μεταβλητών στο πρόγραμμά τους, στην ίδια διαδικασία έτσι ώστε να μεταβούν από οποιαδήποτε κατάσταση βρίσκονται στην αδρανή μέσω της διαδικασίας "sleep()".

Τέλος, ίσως η πιο σημαντική για το σύστημα συμβολοσειρά, η οποία μπορεί να σταλεί από το λογισμικό του εξυπηρετητή, είναι η συμβολοσειρά προετοιμασίας λήψης και αναμετάδοσης των μετρήσεων (broadcast command). Η συγκεκριμένη συμβολοσειρά αν ο εξυπηρετητής απευθύνεται σε όλους τους κόμβους είναι η:

```
"BR"
```

αλλιώς αν απευθύνεται σε συγκεκριμένο κόμβο παραμένει η προαναφερθείσα συνοδευόμενη από το ID του κόμβου:

```
"BR " + nodeId
```

Μόλις οι κόμβοι ή ο κόμβος αντίστοιχα λάβουν και αναγνωρίσουν τη συμβολοσειρά στη διαδικασία "checkIncomingMessages", εάν έχουν συνδεθεί στον εξυπηρετητή μεταβαίνουν από οποιαδήποτε κατάσταση βρίσκονται στην ενεργή μέχρις ότου είτε ολοκληρωθεί η διαδικασία λήψης και αποστολής των μετρήσεων ή διακοπεί από τον εξυπηρετητή.

Συγκεκριμένα, μόλις αναγνωρισθεί η συγκεκριμένη συμβολοσειρά, μέσα στην ίδια διαδικασία καταγράφεται αρχικά μία μέτρηση θερμοκρασίας και μία υγρασίας από

τον αισθητήρα AM2301. Η καταγραφή επιτυγχάνεται διαβάζοντας ο μικροελεγκτής την έξοδο του αισθητήρα μέσω μιας ψηφιακής εισόδου του (ακροδέκτης 6) και μεταφράζοντάς την παράλληλα μέσω ειδικών συναρτήσεων στο πρόγραμμα σε τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας.

Στη συνέχεια, γίνεται η μέτρηση της στάθμης της μπαταρίας ώστε να σταλεί αργότερα στον εξυπηρετητή με τις υπόλοιπες μετρήσεις αλλά και για να ελεγχθεί αν μπορεί η μπαταρία να τροφοδοτήσει τον αισθητήρα αερίων, δεδομένου ότι καταναλώνει μεγάλη ισχύ κατά τη λειτουργία του. Για τον υπολογισμό της τάσης της μπαταρίας γίνονται πολλαπλές μετρήσεις της τάσεώς της χρησιμοποιώντας μια αναλογική είσοδο του μικροελεγκτή (ακροδέκτης 23). Η τάση αυτή, έπειτα, υπολογίζεται μέσα στο πρόγραμμα μέσω ενός συνδυασμού κανονικών και κινούμενων μέσων όρων των τιμών αυτών, με σκοπό την ελάττωση της επίδρασης του ηλεκτρομαγνητικού θορύβου (noise) στο τελικό αποτέλεσμα. Έπειτα, για να εξαχθεί το ποσοστό της μπαταρίας γίνεται αντιστοίχιση της ανωτέρω τιμής τάσης από το εύρος τάσεων λειτουργίας της μπαταρίας, στη συγκεκριμένη περίπτωση 2.75 έως 4.2Volt, στο εύρος από 0 έως 100%. Αν το ποσοστό της μπαταρίας υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο πχ 30% μόνο τότε ενεργοποιείται ο αισθητήρας MQ-2, μέσω μιας ψηφιακής εξόδου του μικροελεγκτή (ακροδέκτης 5), για τρία λεπτά ώστε να προθερμανθεί κατάλληλα για τη μέτρηση της συγκέντρωσης καπνού (smoke) και μονοξειδίου του άνθρακα (CO) στο περιβάλλον [23]. Στην αντίθετη περίπτωση δεν ενεργοποιείται καθόλου ο συγκεκριμένος αισθητήρας, ο κόμβος στέλνει στον εξυπηρετητή μια συμβολοσειρά για να ειδοποιήσει τον χειριστή του ότι είναι χαμηλή η μπαταρία του και ότι δεν θα παρθεί η μέτρηση των αερίων. Η συμβολοσειρά την οποία στέλνει ο κόμβος είναι η:

```
"Low Battery Node " + nodeId + " , no Smoke and CO measurements"
```

και παρά το γεγονός ότι ο αισθητήρας θα είναι ανενεργός, ο χρόνος αναμονής πριν την αποστολή των μετρήσεων του θα παραμένει ίδιος ώστε να διατηρείται μια ενιαία διαδικασία αποστολής μετρήσεων στο σύστημα. Σημειώνεται πως η

ενεργοποίηση του αισθητήρα MQ-2 έπεται σκόπιμα των υπολοίπων μετρήσεων καθώς είναι πιθανό να επηρεάσει τις μετρήσεις θερμοκρασίας με την έκλυση θερμότητας κατά τη λειτουργία του αλλά και τις μετρήσεις της στάθμης της μπαταρίας λόγω της μεγάλης του κατανάλωσης. Αμέσως μετά την ενεργοποίηση ή όχι του αισθητήρα αερίων ο μικροελεγκτής παραμένει μονίμως ενεργοποιημένος και η διαδικασία "sendMeasurements()" ελέγχει τότε θα παρέλθει ο χρόνος των τριών λεπτών της προθέρμανσης του αισθητήρα.

Μόλις παρέλθει ο συγκεκριμένος χρόνος η ίδια διαδικασία αποστέλλει με ανάλογο τρόπο όπως εκείνον της "sendId()" μια συμβολοσειρά με όλες τις μετρήσεις. Προτού σταλεί όμως η κάθε συμβολοσειρά λαμβάνονται και ανανεώνονται μέσα στη συγκεκριμένη διαδικασία οι μετρήσεις του MQ-2 μέσω μιας αναλογικής εισόδου του μικροελεγκτή (ακροδέκτης 24). Έπειτα, υπολογίζονται οι συγκεντρώσεις των δύο αερίων με μια ελαφρώς τροποποιημένη έκδοση της μεθοδολογίας που εφαρμόζει η εταιρία Sandbox Electronics [19]. Η συμβολοσειρά με τις μετρήσεις έχει την ακόλουθη γενική μορφή:

```
"Measurements Node " + nodeId + " BTR " + batteryLevel + " TMP " + temperature + " RH  
" + humidity + " SM " + smoke + " CO " + CO
```

και αποστέλλεται με τον ίδιο χρόνο επανάληψης όπως εκείνος της διαδικασίας "sendId()" η οποία αναλύθηκε παραπάνω. Τέλος, η επαναλαμβανόμενη αποστολή των μετρήσεων στον εξυπηρετητή παύει μόνο όταν αυτός λάβει την συγκεκριμένη συμβολοσειρά, την οποία καταχωρεί, και αποστέλλει μήνυμα επιτυχούς λήψης ώστε ο κόμβος να επιστρέψει στην αδρανή κατάσταση. Η συμβολοσειρά που αποστέλλει ο εξυπηρετητής και αναγνωρίζει ο κόμβος είναι η "OK" συνοδευόμενη από το ID του συγκεκριμένου κόμβου:

```
"OK " + nodeId
```

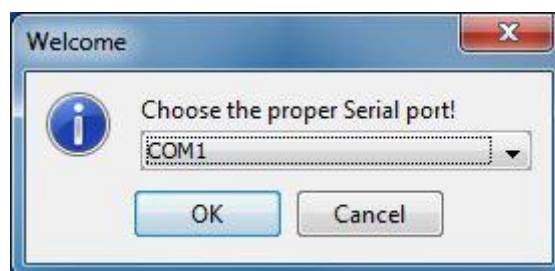
και αναγνωρίζεται, όπως και κάθε εισερχόμενη συμβολοσειρά, στη διαδικασία "checkIncomingMessages". Σημειώνεται πως αν δεν ενεργοποιηθεί ο αισθητήρας αερίων τότε στη θέση των μετρήσεών του στη συμβολοσειρά μπαίνει ο αριθμός -1

ο οποίος δείχνει και στους πελάτες του εξυπηρετητή πως δεν υπάρχει μέτρηση αερίων, καθώς η συγκέντρωση είναι ένα θετικό μέγεθος.

6.6 Λογισμικό εξυπηρετητή (server)

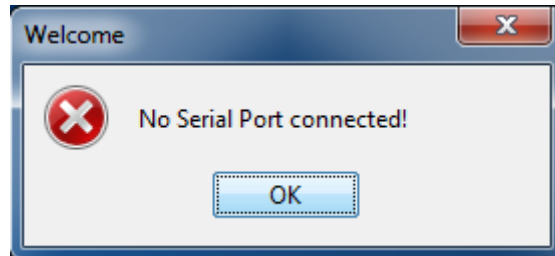
Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί το λογισμικό του εξυπηρετητή, το οποίο, όπως και το λογισμικό του πελάτη (client), αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού Java χρησιμοποιώντας παράλληλα βιβλιοθήκες γραφικών από το περιβάλλον Processing. Λόγω της μεγάλης έκτασης και πολυπλοκότητας του κώδικα αμφότερων των λογισμικών, ακολούθως θα επεξηγηθούν μόνο οι λειτουργίες και οι δυνατότητες που αυτά προσφέρουν, χωρίς να παρατεθούν αυτούσια τμήματα αυτού.

Προτού εκκινήσει ο χειριστής του εξυπηρετητή το συγκεκριμένο λογισμικό, οφείλει να έχει συνδεδεμένη την XBee κεραία του συντονιστή (coordinator) μέσω του αντάπτορα σε μια θύρα USB. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας (UART) μεταξύ του λογισμικού του εξυπηρετητή και του συντονιστή έχει ρυθμιστεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο και παραμέτρους όπως η επικοινωνία μεταξύ μικροελεγκτή και κεραίας εντός ενός κόμβου. Κατά την έναρξη του λογισμικού, το πρώτο πράγμα που καλείται ο χειριστής να επιλέξει είναι σε ποια από τις ενεργές USB θύρες του υπολογιστή έχει συνδεθεί ο συντονιστής.



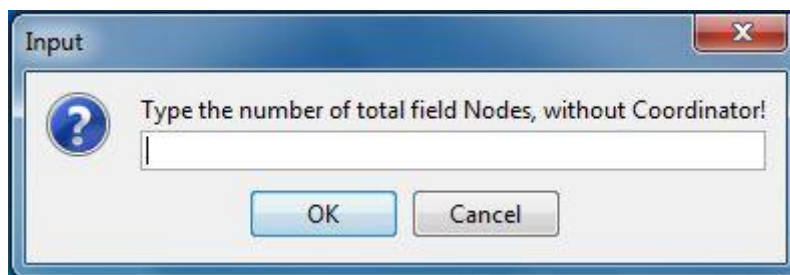
Εικόνα 6.8. Επιλογή USB θύρας στην οποία είναι συνδεδεμένος ο συντονιστής.

Στην περίπτωση που ο χειριστής δεν διαθέτει καμία ενεργή θύρα USB στον υπολογιστή του, ένα μήνυμα σφάλματος τον ειδοποιεί για το συγκεκριμένο γεγονός και του απαγορεύει την είσοδο στο λογισμικό.



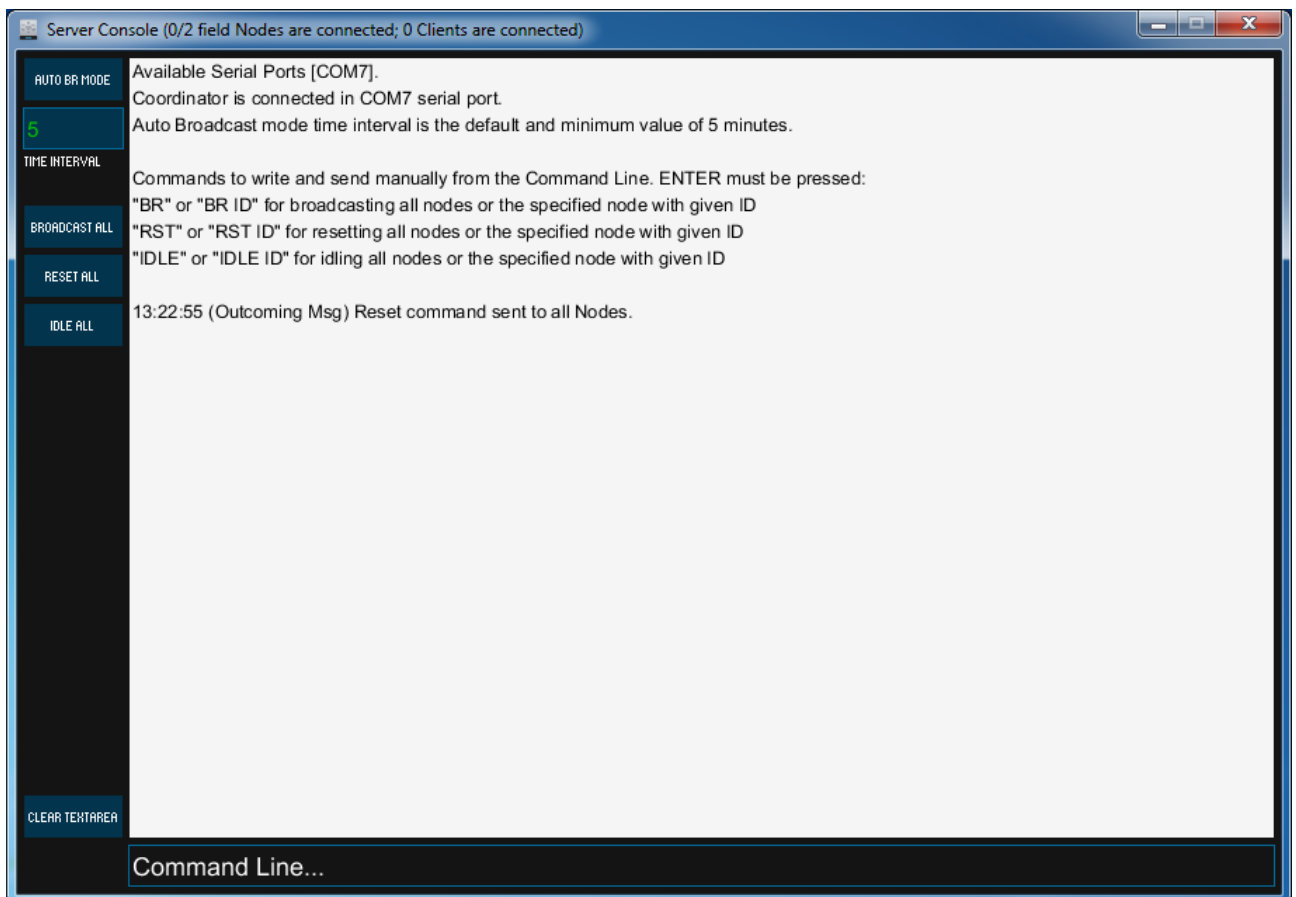
Εικόνα 6.9. Ένδειξη απουσίας ενεργών USB θυρών.

Εφόσον ο χειριστής επιλέξει τη USB θύρα στην οποία συνέδεσε τον συντονιστή, το τελευταίο πράγμα που του ζητείται από την εφαρμογή, εντελώς τυπικά και για οπτική διευκόλυνση του ίδιου, είναι να εισαγάγει το συνολικό αριθμό των αισθητήριων κόμβων μη συμπεριλαμβανομένου του συντονιστή.



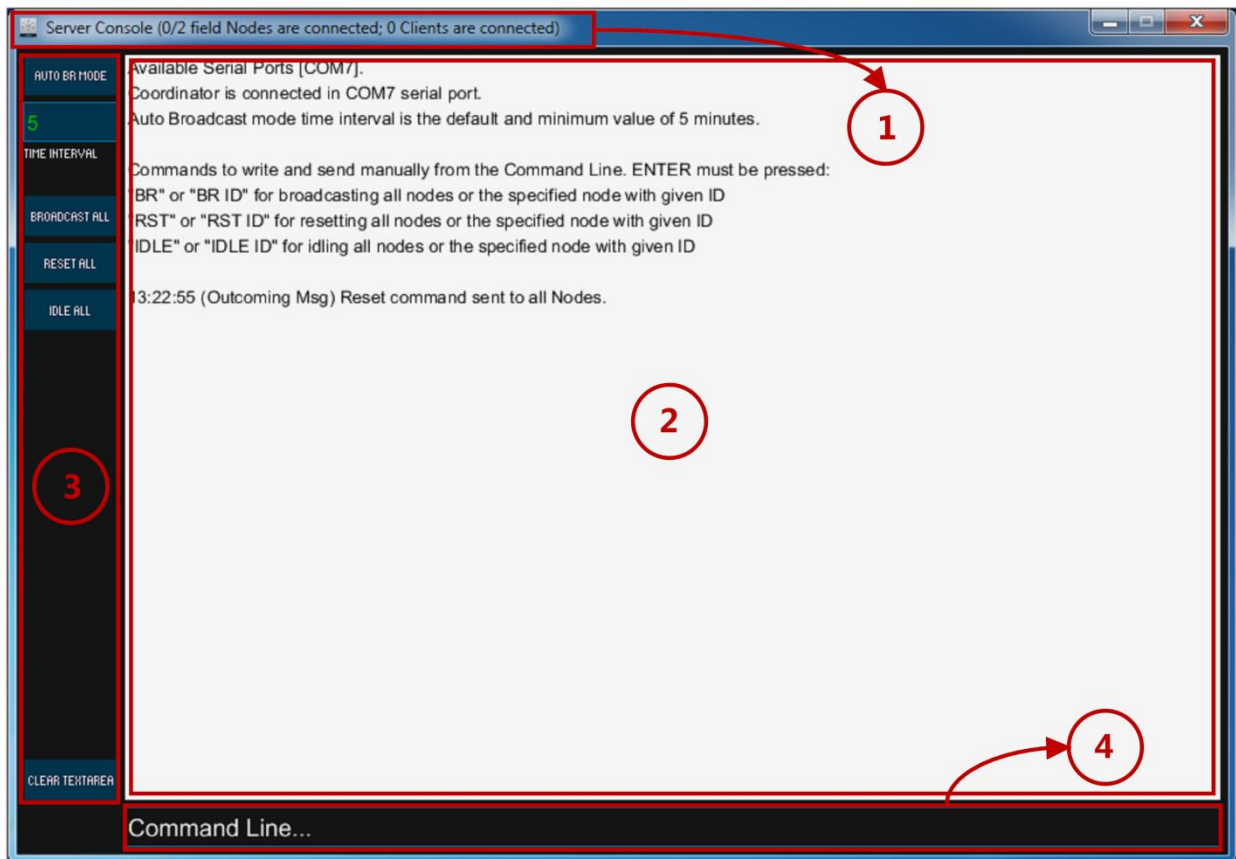
Εικόνα 6.10. Πεδίο εισαγωγής συνολικού αριθμού αισθητήριων κόμβων.

Μόλις εισαχθεί ο ανωτέρω ζητούμενος αριθμός, τότε ανοίγει το κεντρικό παράθυρο της εφαρμογής του εξυπηρετητή. Στη συνέχεια αναλύονται ο χειρισμός και η λειτουργία των επιμέρους τμημάτων του προγράμματος.



Εικόνα 6.11. Διεπαφή του εξυπηρετητή κατά την έναρξη της εφαρμογής.

Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής (GUI) αποτελείται από τέσσερα τμήματα, τα οποία φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα και αναλύονται στη συνέχεια. Σημειώνεται πως ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί τόσο στην απλότητα του σχεδιασμού της διεπαφής της εφαρμογής όσο και των επιλογών τις οποίες προσφέρει στον χειριστή.



Εικόνα 6.12. Διεπαφή του εξυπηρετητή κατά την έναρξη της εφαρμογής με επισημασμένα τα επιμέρους τμήματά της.

Το πρώτο τμήμα αποτελείται από τον τίτλο του παραθύρου (frame title) της εφαρμογής συνοδευόμενο από το λογότυπο [24] της. Στον τίτλο αναγράφεται ένας λόγος, ο οποίος αντιστοιχεί στον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων προς τον συνολικό αριθμό αυτών. Ο λόγος αυτός ανανεώνεται μόνο στην περίπτωση όπου ένας νέος κόμβος συνδεθεί στο σύστημα. Επιπροσθέτως, στον τίτλο αναγράφεται και ενημερώνεται ο αριθμός των πελατών (clients) οι οποίοι είναι ανά πάσα στιγμή συνδεδεμένοι στον εξυπηρετητή. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η οπτική διευκόλυνση του χειριστή στην περίπτωση που επιθυμεί να βλέπει τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων και πελατών χωρίς να είναι απαραίτητη η χειροκίνητη αναζήτηση αυτών μέσω του ακολούθως περιγραφόμενου τμήματος, το οποίο διατηρεί το ιστορικό της εφαρμογής.

Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει ένα εκτενές πεδίο κειμένου (text area) στο οποίο εκτυπώνονται σε γλώσσα κατανοητή για τον χειριστή όλα τα γεγονότα, τα οποία αφορούν το καθένα από τα τρία στάδια του συστήματος. Τα γεγονότα αυτά δηλαδή μπορούν να προέρχονται από τον ίδιο τον χειριστή, από τους συνδεδεμένους πελάτες, από τους κόμβους όπως ακόμα και από το ίδιο το πρόγραμμα ώστε ο χειριστής να γνωρίζει ανά πάσα στιγμή την κατάσταση του συστήματος. Στο συγκεκριμένο πεδίο δεν παρέχεται η δυνατότητα επεξεργασίας του κειμένου του από τον χειριστή της εφαρμογής, διότι χρησιμοποιείται μόνο ως μονάδα εξόδου διατηρώντας παράλληλα το ιστορικό της εφαρμογής. Με την εκκίνηση της εφαρμογής το συγκεκριμένο πεδίο περιέχει ορισμένες χρήσιμες πληροφορίες και βοηθήματα για τον χειριστή που αφορούν αρχικά τις εντολές τις οποίες μπορεί να εισάγει στην γραμμή εντολών. Επιπλέον, εμφανίζει όλες τις ενεργές θύρες USB του υπολογιστή, τη USB θύρα στην οποία είναι συνδεδεμένος ο συντονιστής και την ελάχιστη περίοδο αποστολής που αφορά το ακόλουθο τμήμα της εφαρμογής. Τέλος, με την εκκίνηση της εφαρμογής αποστέλλεται αυτόματα η συμβολοσειρά "RST" (reset command) στους κόμβους με σκοπό να μεταβούν στην αρχική τους κατάσταση και να ανιχνευθούν ξανά από τον εξυπηρετητή. Το κείμενο ανανεώνεται αυτόματα στην περίπτωση που συμβεί κάποιο γεγονός στο σύστημα και παράλληλα παρέχεται, οπότε είναι απαραίτητο, γραμμή κύλισης (scrollbar) ώστε ο χειριστής να έχει τη δυνατότητα να ανατρέχει σε οποιοδήποτε σημείο του κειμένου επιθυμεί. Τέλος, το εκάστοτε νεοεισαχθέν κείμενο συνοδεύεται από την ώρα εκτέλεσης κάθε γεγονότος, ώστε ο χειριστής να γνωρίζει πότε διαδραματίζεται το κάθε γεγονός.

Το τρίτο τμήμα της εφαρμογής περιλαμβάνει πέντε κουμπιά (buttons) και ένα πεδίο εισαγωγής κειμένου (text field). Το κουμπί με ετικέτα "AUTO BR MODE" είναι υπεύθυνο για την αυτόματη περιοδική αποστολή της συμβολοσειράς "BR" (broadcast command) η οποία ωθεί όλους τους κόμβους στην ενεργή κατάσταση για λήψη μετρήσεων. Η προεπιλεγμένη κατάσταση της διαδικασίας αυτής είναι να είναι απενεργοποιημένη και να την ενεργοποιεί όποτε ο χειριστής επιθυμεί. Η

περίοδος της αποστολής καθορίζεται από τον χειριστή σε λεπτά μέσω του ακόλουθου πεδίου εισαγωγής κειμένου TIME INTERVAL. Είτε στην περίπτωση λανθασμένης εισαγωγής είτε κατά την εκκίνηση της εφαρμογής η τιμή της περιόδου τίθεται αυτόματα στην ελάχιστη δυνατή, η οποία είναι 5 λεπτά. Σημειώνεται ότι η τιμή της περιόδου δεν μπορεί να μεταβληθεί όταν είναι ενεργοποιημένη η διαδικασία της αυτόματης αποστολής και ότι η ελάχιστη περίοδος αποστολής σκόπιμα είναι 5 λεπτά, καθώς μια ολοκληρωμένη διαδικασία λήψης μετρήσεων από όλους τους κόμβους διαρκεί τουλάχιστον 3 λεπτά χωρίς ωστόσο να ξεπερνά τα 5 λεπτά. Στη συνέχεια, ο χειριστής έχει την δυνατότητα να αποστέλλει χειροκίνητα τις συμβολοσειρές "BR", "RST" καθώς και "IDLE" (idle command), που αφορούν σε όλους τους κόμβους, μέσω των αντίστοιχων κουμπιών "BROADCAST ALL", "RESET ALL" και "IDLE ALL". Στην περίπτωση που είναι ενεργοποιημένη η αυτόματη αποστολή της εντολής "BR" και πατηθεί ένα από τα προηγούμενα κουμπιά, τότε αυτόματα απενεργοποιείται η αυτόματη αποστολή και αποστέλλεται εκ νέου η εντολή που επιλέχθηκε. Τέλος, το κουμπί με ετικέτα "CLEAR TEXTAREA" είναι υπεύθυνο για τον καθαρισμό του περιεχομένου του δεύτερου τμήματος της εφαρμογής και την επανεμφάνιση σε αυτό των αρχικών βοηθημάτων που παρέχει η εφαρμογή κατά την εκκίνησή της.

Τέλος, το τέταρτο τμήμα της εφαρμογής περιλαμβάνει ένα πεδίο εισαγωγής κειμένου (text field), το οποίο λειτουργεί ως γραμμή εντολών (command line) και ο χειριστής δύναται να πληκτρολογεί οποιαδήποτε γενική εντολή (οι εντολές οι οποίες αποστέλλονται επίσης μέσω του τρίτου τμήματος) ή ειδική εντολή (οι γενικές συνοδευόμενες από το ID ενός συγκεκριμένου κόμβου).

Μία λειτουργία η οποία δεν θα μπορούσε να λείπει από το συγκεκριμένο λογισμικό είναι η καταγραφή και αποθήκευση σε καθημερινή βάση των συνδεδεμένων κόμβων καθώς και των μετρήσεών τους. Για την καταγραφή αξιοποιείται η τεχνολογία XML για λόγους εύκολης προσπέλασης των αρχείων, λόγω της οργάνωσής τους, όπως και για την εύκολη αποστολή τους στους πελάτες (clients) όταν αυτά ζητηθούν. Πιο συγκεκριμένα, μόλις ένας κόμβος

συνδεθεί για πρώτη φορά στον εξυπηρετητή τότε το λογισμικό δημιουργεί μια νέα καταχώρηση στο ημερήσιο αρχείο XML όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Coordinator id="Co" latitude="37.978113" longitude="23.783312" total_nodes="2">
  <Router id="1" latitude="37.978100" longitude="23.779893">
    <Measurements CO_level="0" battery_level="83" relative_humidity="42" smoke_level="0" temperature="25" time="22:53"/>
    <Measurements CO_level="0" battery_level="83" relative_humidity="42" smoke_level="0" temperature="25" time="22:57"/>
  </Router>
</Coordinator>
```

Εικόνα 6.13. Καταχώρηση ενός κόμβου τύπου "Router" με τα στοιχεία του και δύο καταχωρημένες μετρήσεις.

Όπως φαίνεται από την εικόνα ο τρόπος δόμησης του αρχείου XML έγκειται στο ότι ως αρχικό στοιχείο (root element) τίθεται ο συντονιστής (coordinator) με ιδιότητες (attributes) τα στοιχεία της τοποθεσίας, της ταυτότητάς του καθώς και τον συνολικό αριθμό των κόμβων, τον οποίο εισήγαγε ο χειριστής στην έναρξη του λογισμικού. Ως παιδιά (children) του συντονιστή θεωρούνται οι κόμβοι οι οποίοι περιλαμβάνουν αντίστοιχα τις ιδιότητες της τοποθεσίας και ταυτότητάς τους. Κατά αντιστοιχία οι μετρήσεις του εκάστοτε κόμβου αποτελούν παιδιά αυτού και περιλαμβάνουν ως ιδιότητες τις τιμές των μετρούμενων μεγεθών καθώς και την ώρα που ελήφθησαν από τον εξυπηρετητή.

Για τη διαφύλαξη και τη σωστή οργάνωση των XML αρχείων, κατά την εκκίνηση του λογισμικού ελέγχεται αν μέσα σε ένα προκαθορισμένο φάκελο, ο οποίος περιέχει όλα τα αρχεία καταγραφών, υπάρχει η τρέχουσα ημερομηνία βάσει του τίτλου κάθε XML αρχείου, ο οποίος αποτελείται από την εκάστοτε ημερομηνία δημιουργίας του. Στην περίπτωση εύρεσης αρχείου XML με τίτλο τη τρέχουσα ημερομηνία, το λογισμικό εκτελείται κανονικά αντλώντας και στη συνέχεια επεκτείνοντας τις υπάρχουσες καταχωρήσεις των κόμβων και των μετρήσεων του αρχείου αυτού σε κάθε λήψη πακέτου μετρήσεων. Στην αντίθετη περίπτωση δημιουργεί ένα νέο XML αρχείο με τίτλο την τρέχουσα ημερομηνία προσθέτοντας μόνο το στοιχείο του συντονιστή ως αρχικό και περιμένοντας έπειτα από την αποστολή ενός reset command για εισερχόμενα αιτήματα σύνδεσης από τους

κόμβους για την εκ νέου συμπλήρωση του αρχείου αυτού. Στην περίπτωση αλλαγής της ημέρας το λογισμικό αποθηκεύει για τελευταία φορά το XML αρχείο της προηγούμενης ημέρας και επαναλαμβάνει τις ενέργειες της προηγούμενης πρότασης με σκοπό την εκκίνηση νέων καταγραφών για την νέα ημέρα. Η κατάτμηση των αρχείων καταγραφής σκόπιμα γίνεται σε ημερήσια βάση, αρχικά για λόγους εύκολης πρόσβασης του χειριστή σε αυτά. Έπειτα, για την ανανέωση της λίστας των συνδεδεμένων κόμβων σε αυτά, ώστε να μην διακινούνται καταχωρίσεις για κόμβους από μέρα σε μέρα οι οποίοι μπορεί να απενεργοποιηθούν κάποια στιγμή λόγω έλλειψης τροφοδοσίας. Τέλος, αυτή γίνεται ώστε το μέγεθος σε KB και το περιεχόμενο του κάθε XML αρχείου να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, διότι σε κάθε αίτημα των πελατών του το λογισμικό στέλνει σε μορφή συμβολοσειράς το περιεχόμενο του XML αρχείου που έχει ως τίτλο την ζητηθείσα από τον εκάστοτε πελάτη ημερομηνία.

Η επικοινωνία μέσω της ανταλλαγής συμβολοσειρών μεταξύ του εξυπηρετητή και των κόμβων έχει περιγραφεί λεπτομερώς στην Ενότητα 6.5 και δεν χρήζει περαιτέρω ανάλυσης, σε αντίθεση με την επικοινωνία μεταξύ εξυπηρετητή και πελατών. Αυτή βασίζεται στην ανταλλαγή, μέσω IP, συμβολοσειρών της ακόλουθης γενικής μορφής:

Πρόθεμα	Περιεχόμενο XML αρχείου ορισμένης ημερομηνίας	Διαθέσιμες ημερομηνίες ιστορικού
---------	---	----------------------------------

Το πρόθεμα μπορεί να λαμβάνει μία από τις τρεις διαθέσιμες μορφές:

- "Update"
- "New Date"
- τη συμβολοσειρά του IP ενός ορισμένου πελάτη.

Το πρόθεμα "Update" αναφέρεται στην αποστολή των δεδομένων καταγραφής κάθε φορά που ολοκληρώνεται μία συλλογή μετρήσεων από τους κόμβους. Εν προκειμένω, το δεύτερο τμήμα της συμβολοσειράς αποτελείται από το περιεχόμενο του ενημερωμένου πλέον XML αρχείου της τρέχουσας ημέρας, ενώ το τρίτο τμήμα είναι μία συμβολοσειρά με τις διαθέσιμες ημερομηνίες του ιστορικού.

Με το πρόθεμα "New Date" ο εξυπηρετητής ενημερώνει τους πελάτες για την αλλαγή ημερομηνίας. Στην περίπτωση αυτή το δεύτερο τμήμα της συμβολοσειράς είναι κενό ενώ το τμήμα του ιστορικού περιλαμβάνει πλέον και την ημέρα που μόλις παρήλθε.

Όταν το πρόθεμα περιέχει το IP ενός πελάτη, αυτό σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος πελάτης είτε έχει κάνει αίτημα σύνδεσης στον εξυπηρετητή είτε ζητά από αυτόν το ιστορικό μίας ορισμένης ημερομηνίας. Τότε το δεύτερο τμήμα της συμβολοσειράς αποτελείται από το περιεχόμενο του XML αρχείου είτε της τρέχουσας ή της ζητούμενης ημερομηνίας αντίστοιχα. Το τρίτο τμήμα και εδώ περιέχει το διαθέσιμο ιστορικό.

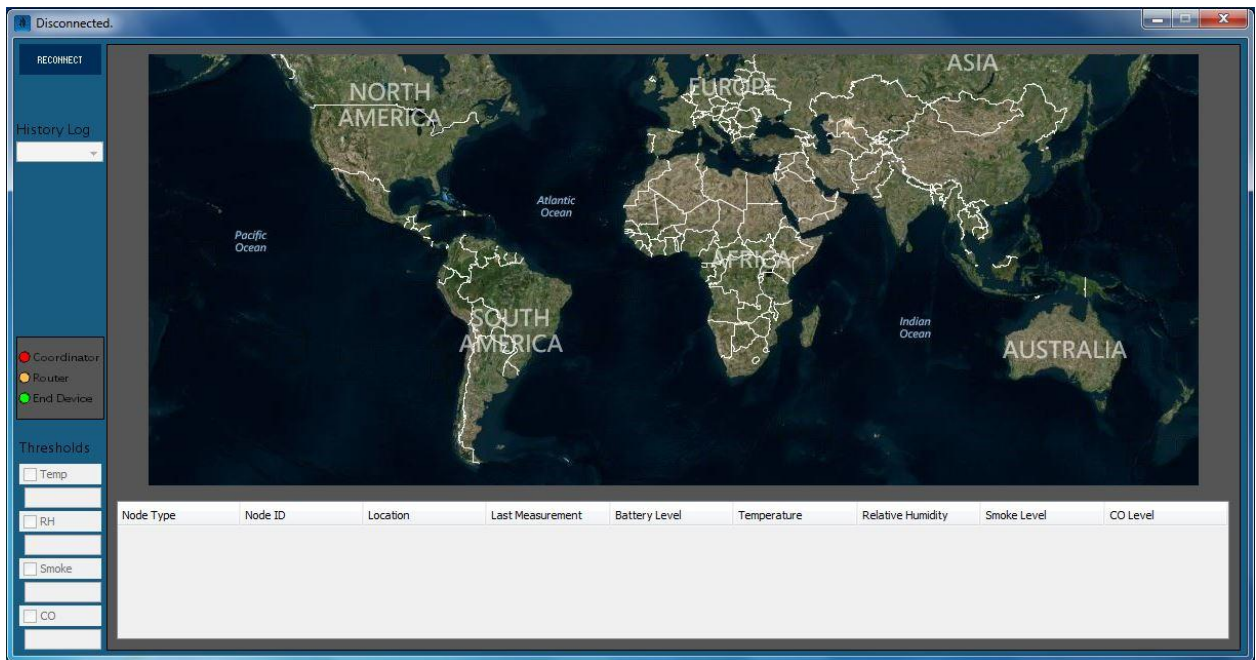
Εδώ μπορεί να σημειωθεί ότι η ονοματολογία των XML αρχείων καταγραφών δεν εξυπηρετεί μόνο στην ταξινόμηση βάσει της ημερομηνίας εντός του προκαθορισμένου φακέλου, αλλά και στην ταξινομημένη σύνταξη του τρίτου τμήματος της συμβολοσειράς. Η αξιοποίηση της τελικής συμβολοσειράς από την πλευρά του πελάτη θα επεξηγηθεί στην επόμενη ενότητα.

Κατά την έξοδο του προγράμματος, αρχικά, εκτελείται αυτόματα η αποθήκευση του XML αρχείου. Έπειτα, αποθηκεύεται και το τρέχον περιεχόμενο του δεύτερου τμήματος (text area) της διεπαφής σε ένα .rtf αρχείο με την ίδια ονοματολογία σε έναν διαφορετικό προκαθορισμένο φάκελο. Τέλος, ο εξυπηρετητής αποστέλλει μία εντολή αδρανοποίησης (idle command) σε όλους του κόμβους, προκειμένου αυτοί να μεταβούν στην αδρανή κατάσταση, δηλαδή την κατάσταση χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης. Αποθήκευση του .rtf αρχείου πραγματοποιείται επίσης στην περίπτωση αλλαγής ημέρας ακολουθώντας την ανάλογη διαδικασία με αυτήν των XML αρχείων που προαναφέρθηκε.

6.7 Λογισμικό πελάτη (client)

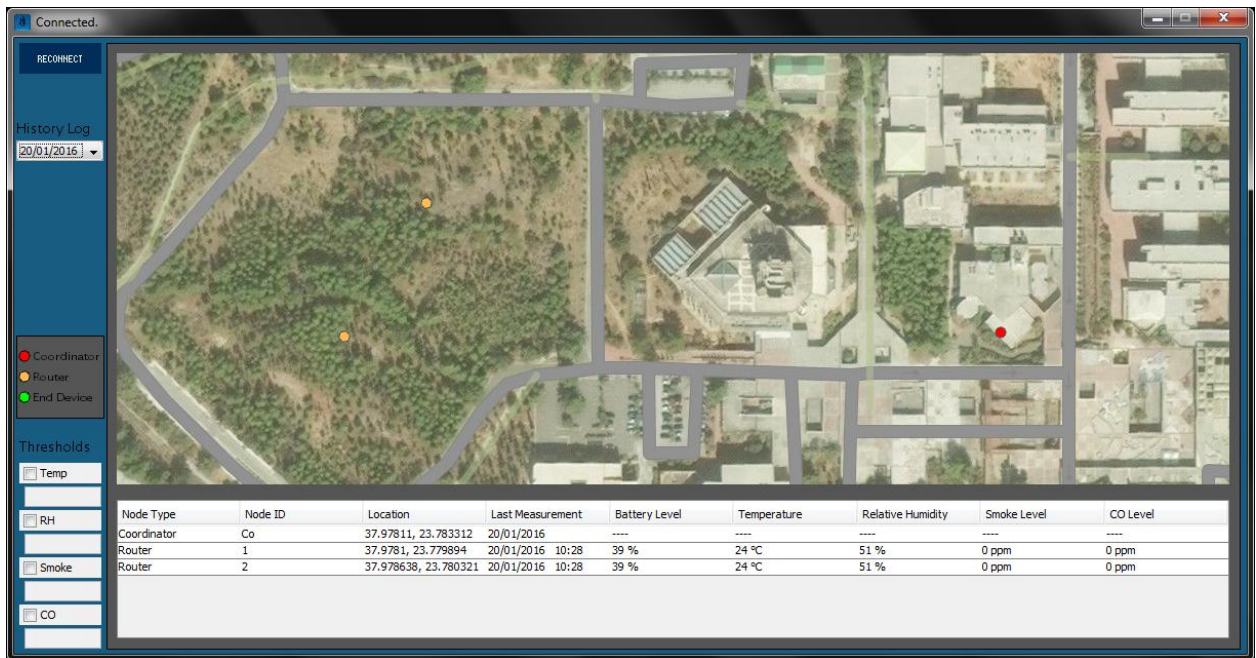
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται το λογισμικό του πελάτη, ο οποίος επικοινωνεί με τον εξυπηρετητή μέσω IP συμβολοσειρών. Εν γένει, ο πελάτης ζητά τις καταγραφές του εξυπηρετητή προς απεικόνιση στο γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής του. Και εδώ σκοπός ήταν να παρασχεθεί στον χρήστη μια λειτουργική και εύχρηστη διεπαφή στην οποία να μπορεί να προβάλλει και να εφαρμόζει ελέγχους στις λαμβανόμενες καταγραφές.

Με την εκκίνηση του λογισμικού του πελάτη αποστέλλεται ένα αίτημα σύνδεσης στον εξυπηρετητή, το οποίο περιλαμβάνει το IP του πρώτου. Εάν ο εξυπηρετητής βρίσκεται εκτός λειτουργίας, τότε η διεπαφή του πελάτη διαμορφώνεται όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, όπου οι διαθέσιμες στη διεπαφή επιλογές παραμένουν κλειδωμένες και στον τίτλο του παραθύρου, δίπλα από το λογότυπο [25] της εφαρμογής, αναγράφεται η λέξη "Disconnected". Η μόνη επιλογή η οποία δίνεται στον πελάτη στην περίπτωση αυτή είναι η προσπάθεια επανασύνδεσής του στον εξυπηρετητή πατώντας το κουμπί με την ετικέτα "RECONNECT". Αποτυχία σύνδεσης μπορεί, πέραν τούτου, να προκύψει εάν το IP και η θύρα επικοινωνίας (port) του εξυπηρετητή διαφέρουν από τις προκαθορισμένες τιμές αυτών που είναι αποθηκευμένες σε ένα XML αρχείο (ClientOptions.xml), το οποίο παρέχεται στο φάκελο της εφαρμογής. Στην περίπτωση αυτή ο πελάτης, έχοντας κλείσει την εφαρμογή, μπορεί να παρέμβει και να μεταβάλει χειροκίνητα τις παραμέτρους αυτές στο συγκεκριμένο XML αρχείο.



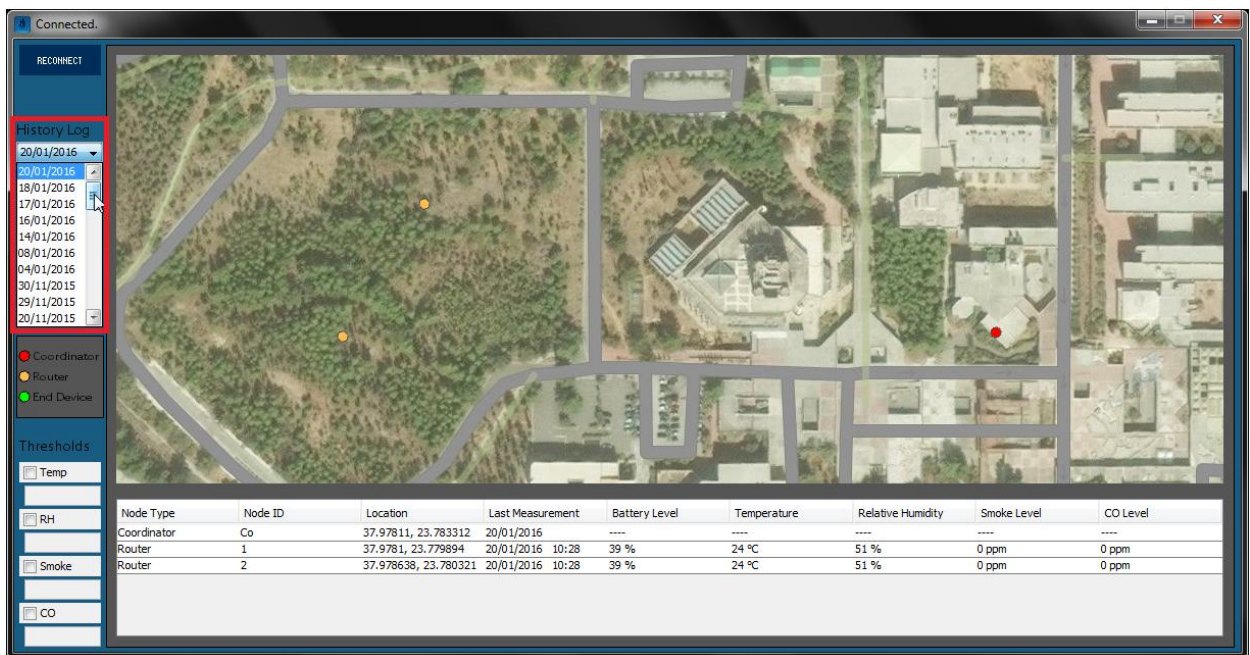
Εικόνα 6.14. Διεπαφή του πελάτη στην περίπτωση που ο εξυπηρετητής είναι απενεργοποιημένος.

Αντιθέτως, εάν ο εξυπηρετητής βρίσκεται σε λειτουργία και λάβει αίτημα σύνδεσης από τον πελάτη, τότε αποστέλλει σε αυτόν τη συμβολοσειρά "ip+xml+history", όπου η μεταβλητή ip περιέχει το IP του εν λόγω πελάτη, η xml περιλαμβάνει το περιεχόμενο του XML αρχείου της τρέχουσας ημέρας και η history αποτελεί το ιστορικό των διαθέσιμων ημερομηνιών. Στην περίπτωση που ο πελάτης λάβει μία συμβολοσειρά με πρόθεμα το IP του, τότε ξεκινά η κατάλληλη αποδόμηση του περιεχομένου της συμβολοσειράς για τη δημιουργία μίας προσωρινής βάσης δεδομένων προς απεικόνιση και στον τίτλο του παραθύρου αναγράφεται πλέον η λέξη "Connected". Η αποδόμηση αυτή έγκειται στο διαχωρισμό των δεδομένων του XML αρχείου (δηλαδή του δευτέρου τμήματος της αποσπελλόμενης συμβολοσειράς), τα οποία μεταφράζονται ως διαθέσιμες επιλογές στον πίνακα της διεπαφής και ως κουκίδες στον χάρτη αυτής.



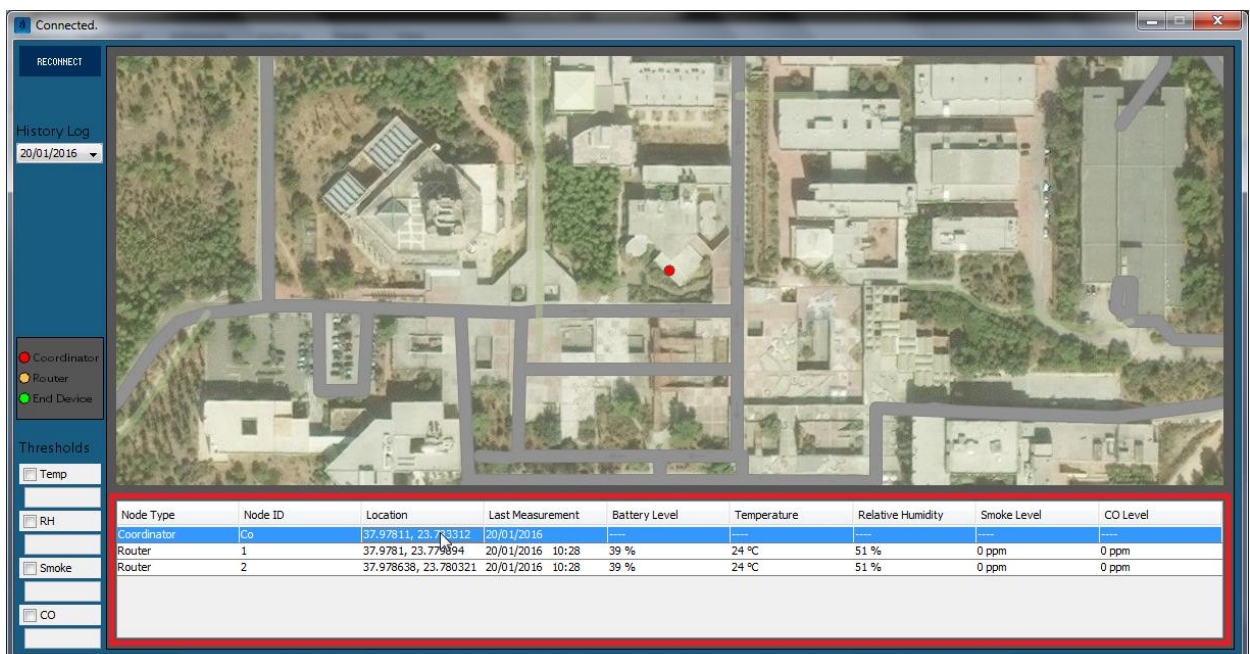
Εικόνα 6.15. Διεπαφή του πελάτη στην περίπτωση που ο εξυπηρετητής είναι ενεργοποιημένος.

Οι κουκίδες αυτές υποδηλώνουν τη γεωγραφική θέση του συντονιστή και των κόμβων που ανήκουν σε αυτόν βάσει των στοιχείων γεωγραφικού μήκους και πλάτους, τα οποία περιέχονται στο XML αρχείο. Να σημειωθεί πως ο χάρτης ο οποίος χρησιμοποιείται στη συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ο υβριδικός (hybrid) χάρτης της Microsoft, ο οποίος παρέχεται μέσω της βιβλιοθήκης Unfolding. Για τη διάκριση μεταξύ των τύπων των κόμβων οι κουκίδες απεικονίζονται με διαφορετικά χρώματα, το υπόμνημα των οποίων βρίσκεται αριστερά στο μέσον της διεπαφής. Οι ημερομηνίες που περιέχονται στη μεταβλητή history παρατίθενται με φθίνουσα σειρά στο dropdown menu, το οποίο βρίσκεται στο άνω αριστερό μέρος της διεπαφής. Όταν ο χρήστης επιλέξει μία από τις διαθέσιμες ημερομηνίες, αποστέλλεται στον εξυπηρετητή μία συμβολοσειρά της μορφής "ip+date". Μόλις ο εξυπηρετητής λάβει ένα τέτοιο αίτημα, αποκρίνεται αποστέλλοντας και πάλι μία συμβολοσειρά της μορφής "ip+xml+history", όπου το περιεχόμενο του αποσπελλόμενου XML αρχείου αναφέρεται στην επιλεγθείσα ημερομηνία date.



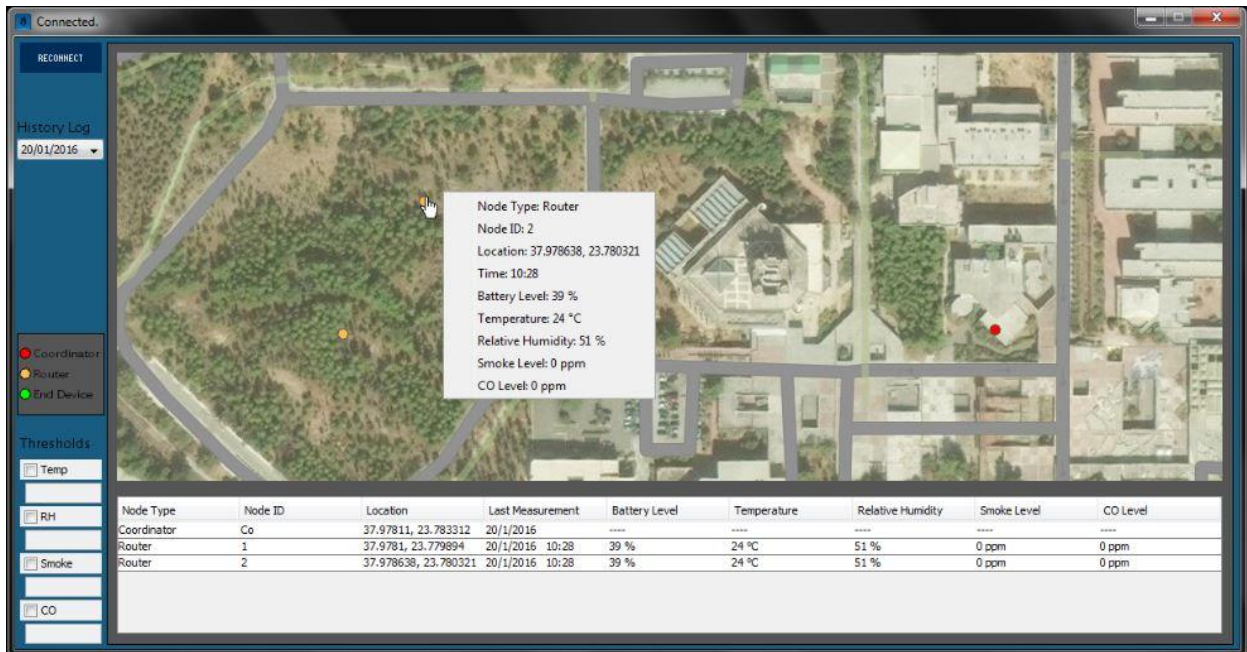
Εικόνα 6.16. Διεπαφή του πελάτη με επισημασμένο στο αριστερό μέρος το μενού επιλογής ιστορικού.

Πέραν τούτου, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει κάποιον κόμβο μέσω του πίνακα, στο κάτω μέρος της διεπαφής οπότε γίνεται μεγέθυνση στη περιοχή γύρω από αυτόν.



Εικόνα 6.17. Διεπαφή του πελάτη με επισημασμένο στο κάτω μέρος τον πίνακα επιλογής συγκεκριμένου κόμβου.

Αλλιώς ο χρήστης μπορεί να περιηγείται στον χάρτη και περνώντας τον κέρσορα του πάνω από τις προβαλλόμενες κουκίδες μπορεί να βλέπει σε ένα popup μενού τα στοιχεία (τύπος κόμβου, ID κόμβου, γεωγραφικές συντεταγμένες και το πιο πρόσφατο πακέτο μετρήσεων) που αναφέρονται στον κόμβο αυτόν.



Εικόνα 6.18. Διεπαφή του πελάτη με ορατό το popup μενού ενός κόμβου.

Για την περιήγηση αυτή ο χάρτης διαθέτει δυνατότητα μεγέθυνσης (zoom in), σμίκρυνσης (zoom out) και μετακίνησης του κέντρου (pan) με τη χρήση των πλήκτρων (+) και (-) και του ποντικιού αντίστοιχα.

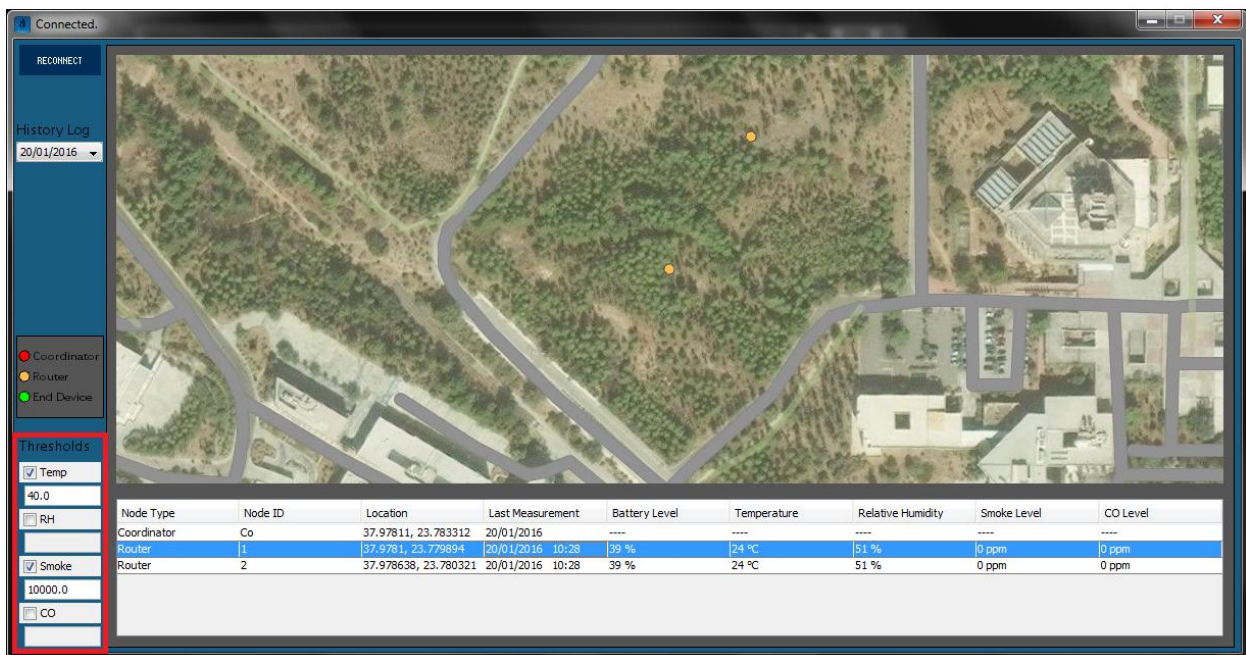
Επιπροσθέτως, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει τη γραφική παράσταση κάθε μετρούμενου μεγέθους σε ημερήσια χρονική βάση, πατώντας την κουκίδα του κόμβου στο χάρτη. Με το πάτημα αυτό εξαφανίζεται ο χάρτης και στη θέση του παρουσιάζεται η γραφική παράσταση, όπου στο κάτω δεξιό άκρο υπάρχουν οι επιλογές για ένα συγκεκριμένο μέγεθος. Η γραφική παράσταση διαθέτει επίσης δυνατότητες μεγέθυνσης, σμίκρυνσης, μετακίνησης του κέντρου και επαναφοράς στην αρχική θέση (reset position) με τη χρήση του ποντικιού και του πλήκτρου SPACE αντίστοιχα. Επιπλέον, με το πέρασμα του κέρσορα πάνω από κάθε απεικονιζόμενο σε αυτήν σημείο εμφανίζονται οι ακριβείς x,y τιμές του.



Εικόνα 6.19. Διεπαφή του πελάτη με ορατή τη γραφική παράσταση του ποσοστού της μπαταρίας ενός κόμβου σε ημερήσια βάση χρόνου.

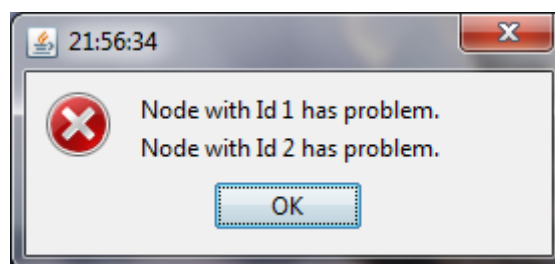
Η γραφική παράσταση με τα στοιχεία ενός διαφορετικού κόμβου μπορεί να εμφανιστεί αυτόματα, εάν ο χρήστης επιλέξει το συγκεκριμένο κόμβο από τον πίνακα. Πέραν τούτου, κάθε φορά που ο πελάτης λαμβάνει από τον εξυπηρετητή μία συμβολοσειρά με ανανεωμένες τις τιμές των μετρήσεων το γράφημα της τρέχουσας ημέρας ανανεώνεται και πάλι αυτόματα. Σε κάθε περίπτωση το γεγονός της ανανέωσης των μετρήσεων συνοδεύεται από έναν χαρακτηριστικό ήχο προς ενημέρωση του χρήστη, ενώ στον τίτλο αναγράφεται η ένδειξη "Updating" μέχρι την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής. Η επιστροφή στον χάρτη γίνεται μέσω του κουμπιού πάνω αριστερά με την ετικέτα "SHOW MAP", το οποίο είναι ορατό μόνο στην περίπτωση που στην διεπαφή εμφανίζεται κάποια γραφική παράσταση.

Τέλος, όταν ο χρήστης παρακολουθεί μόνο την τρέχουσα ημέρα, έχει τη δυνατότητα να θέτει τιμές κατωφλίου σε όποιες παραμέτρους επιθυμεί (επίπεδο θερμοκρασίας, υγρασίας, συγκέντρωσης καπνού και μονοξειδίου του άνθρακα) μέσω των διαθέσιμων κάτω αριστερά επιλογών στη διεπαφή.



Εικόνα 6.20. Διεπαφή του πελάτη με επισημασμένες στο κάτω αριστερό μέρος τις παραμέτρους, οι οποίες μπορούν να υποστούν κατωφλιοποίηση.

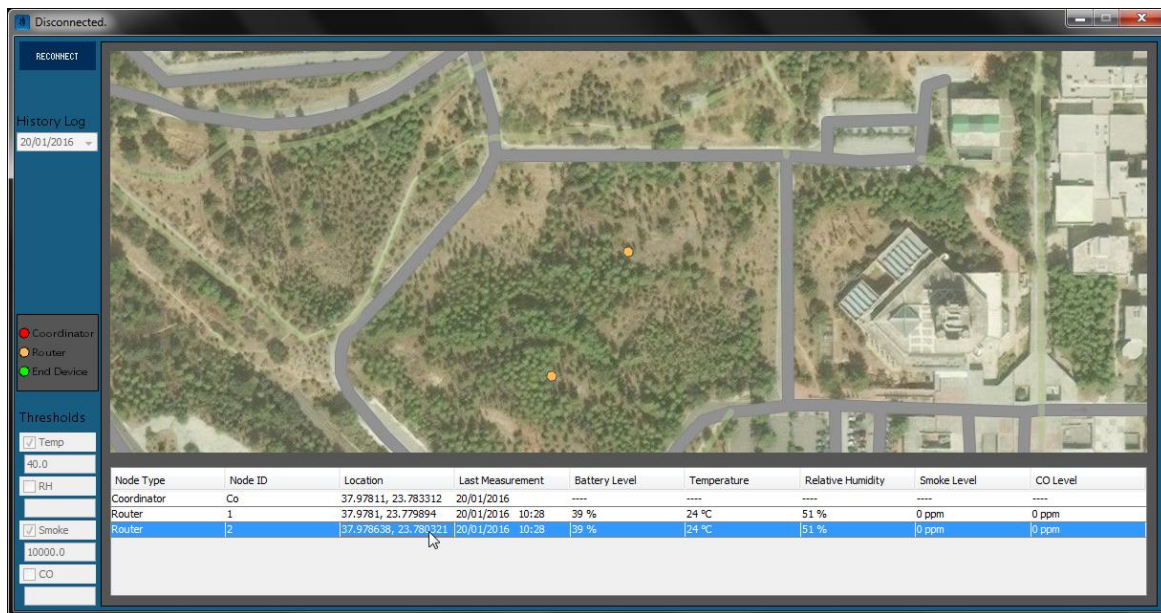
Τότε, σε περίπτωση που σε κάποιον ή κάποιους κόμβους ανιχνευθούν τιμές, οι οποίες υπερβαίνουν τις επιλεχθείσες τιμές κατωφλίου, στην διεπαφή αναδύεται ένα παράθυρο συνοδευόμενο από μία ηχητική ειδοποίηση, το οποίο έχει ως τίτλο την ώρα εμφάνισης του και πληροφορεί τον χρήστη σε ποιους κόμβους παρουσιάστηκαν υπερβάσεις.



Εικόνα 6.21. Μήνυμα ενημέρωσης σχετικά με τους κόμβους στους οποίους παρουσιάστηκε υπέρβαση κάποιας εκ των επιλεγμένων τιμών κατωφλίου.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση διακοπής της επικοινωνίας μεταξύ πελάτη και εξυπηρετητή, οι επιλογές της κατωφλιοποίησης και της αίτησης ιστορικού κλειδώνουν, διατηρώντας τις έως τότε τιμές, ενώ στον τίτλο του

παραθύρου αναγράφεται η ένδειξη "Disconnected". Η δυνατότητα χρήσης του πίνακα, του χάρτη και της προβολής γραφικών παραστάσεων παραμένουν για τις τιμές των μετρήσεων που λήφθηκαν πριν τη διακοπή της σύνδεσης. Για την ανάκτηση της σύνδεσης ο πελάτης πρέπει να πατήσει το κουμπί με την ετικέτα "RECONNECT".



Εικόνα 6.22. Διεπαφή του πελάτη σε περίπτωση διακοπής της επικοινωνίας μεταξύ αυτού και του εξυπηρετητή.

Συνοψίζοντας όσον αφορά τη διεπαφή του εξυπηρετητή και εκείνη του πελάτη, παρατηρείται ότι η δεύτερη παρέχει περισσότερες δυνατότητες και επιλογές σε σχέση με την πρώτη, ενώ πιθανόν να περίμενε κανείς το αντίθετο ή κάποιο συνδυασμό των δυο εφαρμογών σε μία ενιαία. Η ενοποίηση των δυο εφαρμογών, όμως, θα αύξανε την πολυπλοκότητα της προκύπτουσας εφαρμογής δεδομένου ότι θα περιείχε περισσότερες δυνατότητες και επιλογές από αυτές της ένωσης των δυο εφαρμογών. Η κατάτμηση σε δυο ξεχωριστές, πιο απλοποιημένες εφαρμογές έγινε σκόπιμα ώστε η κάθε εφαρμογή να διαδραματίζει τον ρόλο της και να έχει τη δυνατότητα ο χειριστής του εξυπηρετητή, όντας και ο ίδιος πλέον πελάτης, να εποπτεύει παράλληλα αν αποστέλλονται σωστά τα δεδομένα στους υπόλοιπους συνδεδεμένους πελάτες.

7ο Κεφάλαιο: Δοκιμές, Βελτιώσεις και Συμπεράσματα

7.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ένα παράδειγμα επικοινωνίας ενός συστήματος αποτελούμενου από τον εξυπηρετητή, δύο αισθητήριους κόμβους και έναν πελάτη, χρησιμοποιώντας τις διεπαφές του εξυπηρετητή και του πελάτη. Επισημαίνεται εδώ ότι οι δοκιμές που θα παρουσιαστούν διεξήχθησαν σε εργαστηριακό περιβάλλον, και όχι στη δασική έκταση του αρχικού σεναρίου. Αυτό, ωστόσο, δεν μειώνει την αξία των δοκιμών, καθώς στόχος είναι να φανεί η λειτουργικότητα και η χρησιμότητα του αναπτυχθέντος συστήματος. Η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων και του συντονιστή είναι εφικτή για τις αποστάσεις που ορίστηκαν στο αρχικό σενάριο, παρόλα αυτά κρίθηκε αναγκαίο οι δοκιμές να διεξαχθούν εργαστηριακά. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα προταθούν ορισμένες βελτιώσεις για το αναπτυχθέν σύστημα με βάση τις γενικότερες συνθήκες και ανάγκες για την παρακολούθηση μίας δασικής έκτασης. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τη δοκιμή του συστήματος, αλλά και τις πιθανές βελτιώσεις του θα εξαχθεί το τελικό συμπέρασμα της παρούσας μελέτης.

7.2 Δοκιμή του συστήματος

7.2.1 Το πλάνο της δοκιμής

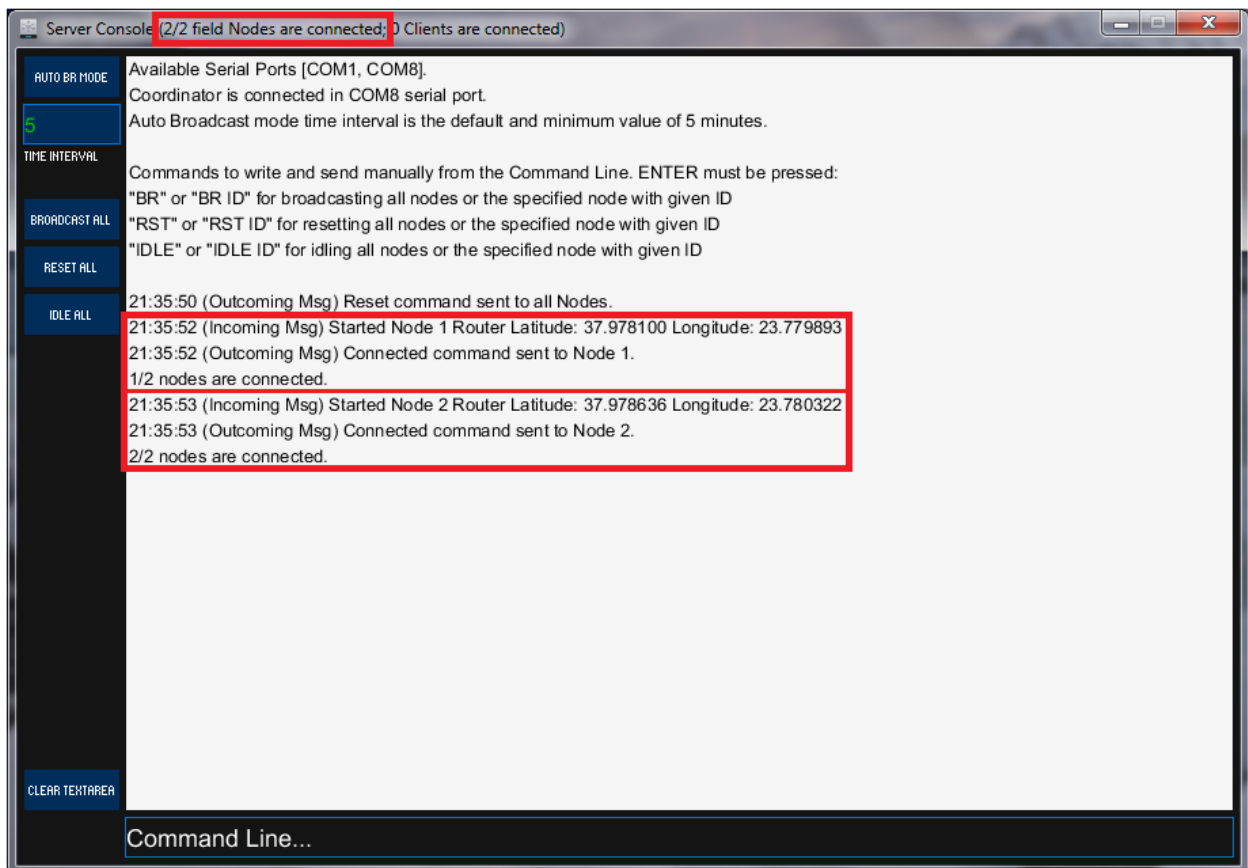
Το πλάνο της δοκιμής έγκειται στην επίδειξη της λειτουργικότητας του συστήματος σε όλα τα στάδια (κόμβοι, εξυπηρετητής και πελάτης) με βάση το τι απεικονίζεται στα δύο λογισμικά (εξυπηρετητή και πελάτη) και όχι με βάση την εσωτερική λειτουργία του συστήματος, η οποία παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η επικοινωνία μεταξύ κόμβων και εξυπηρετητή καθώς και εξυπηρετητή και πελάτη εξελίσσεται παράλληλα, ωστόσο για λόγους σαφήνειας πρώτα θα παρουσιαστεί το πρώτο ζεύγος επικοινωνίας και στη συνέχεια το δεύτερο. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι στη συγκεκριμένη δοκιμή τα δύο λογισμικά εκτελούνται στον ίδιο υπολογιστή έχοντας θέσει τις τιμές IP και θύρας επικοινωνίας (port), έτσι ώστε IP=127.0.0.1 και port=5204, προκειμένου να μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους σε τοπικό επίπεδο.

7.2.2 Επικοινωνία αισθητήριων κόμβων - εξυπηρετητή

Στη συγκεκριμένη δοκιμή λαμβάνουν μέρος μόνο δυο αισθητήριοι κόμβοι με τον εξυπηρετητή, χωρίς τη συμμετοχή των πελατών. Συνεπώς, στο text area της διεπαφής του εξυπηρετητή δεν αναμένεται η εμφάνιση μηνυμάτων από πλευράς πελατών.

Ξεκινώντας τον έλεγχο της συνδεσιμότητας των αισθητήριων κόμβων με τον εξυπηρετητή πρέπει να είναι εξασφαλισμένη η σωστή σύνδεση του συντονιστή σε αυτόν (βλ. Ενότητα 6.6). Αρχικά, οι κόμβοι βρίσκονται στην αρχική κατάσταση αποστέλλοντας το ID τους, ενώ ο εξυπηρετητής είναι απενεργοποιημένος. Μόλις ο εξυπηρετητής ενεργοποιηθεί, λαμβάνει και εξυπηρετεί ένα προς ένα τα αιτήματα σύνδεσης των κόμβων. Για παράδειγμα, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα, λαμβάνει αρχικά τη συμβολοσειρά αναγνώρισης από τον πρώτο κόμβο, η οποία εμφανίζεται αυτούσια στη διεπαφή του ως εισερχόμενο μήνυμα (Incoming Msg). Αμέσως μετά ο εξυπηρετητής αποκρίνεται στέλνοντας (Outcoming Msg) την

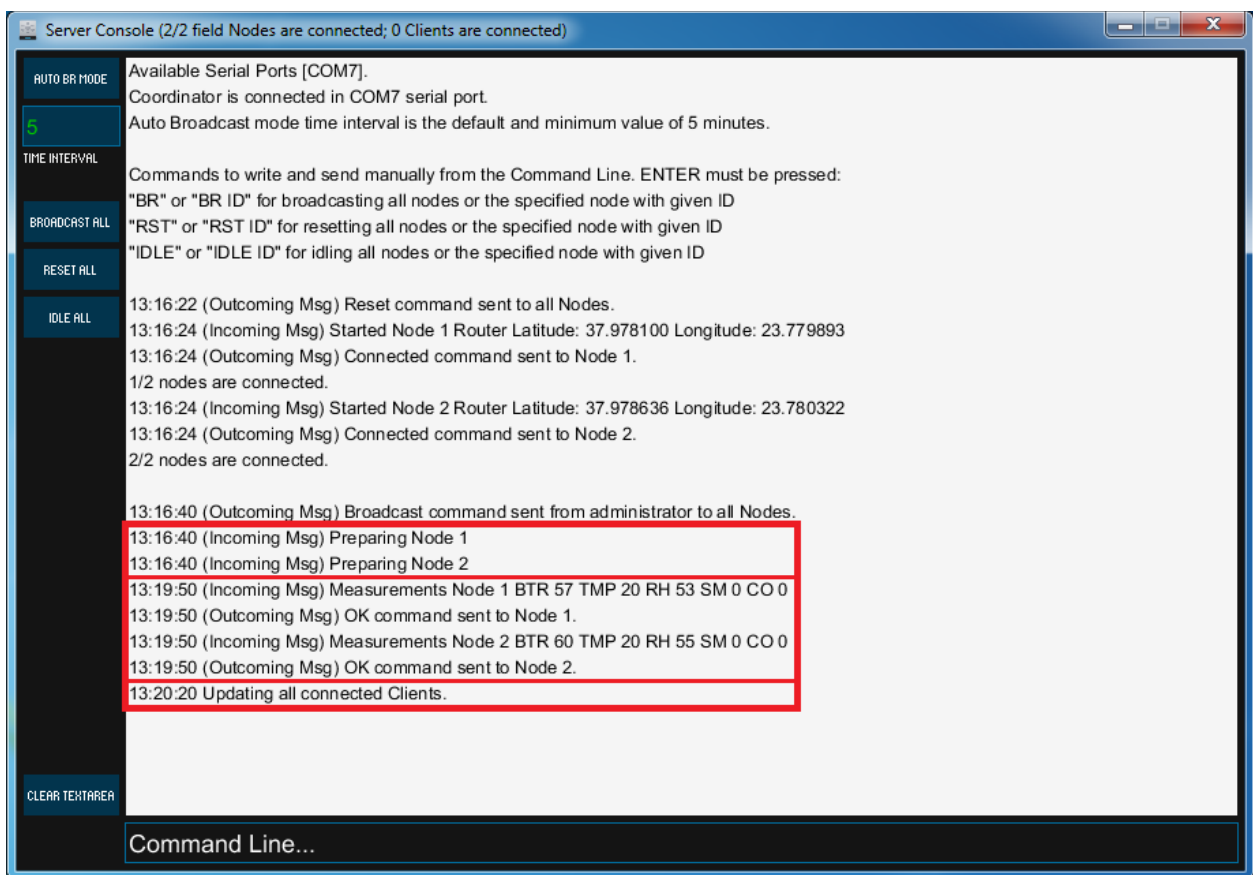
connected command σε αυτόν. Εάν ο συγκεκριμένος κόμβος συνδέεται για πρώτη φορά, στον τίτλο του παραθύρου ενημερώνεται ο μετρητής των συνδεδεμένων κόμβων και στο text area εμφανίζεται ο αριθμός των συνδεδεμένων κόμβων. Η ίδια διαδικασία εκτελείται και για το αίτημα αναγνώρισης του δεύτερου κόμβου, όπως φαίνεται στο κάτω κόκκινο πλαίσιο της εικόνας.



Εικόνα 7.1. Διεπαφή του εξυπηρετητή με επισημασμένο επάνω τον αριθμό των συνδεδεμένων κόμβων και κάτω τα μηνύματα τα οποία εμφανίζονται κατά την πρώτη σύνδεσή τους.

Στη συνέχεια, είτε πατώντας το κουμπί με την ετικέτα "BROADCAST ALL" είτε με την παρέλευση του TIME INTERVAL εάν είναι ενεργοποιημένο το "AUTO BR MODE" ή πληκτρολογώντας τη συμβολοσειρά "BR" στη γραμμή εντολών (Command Line), αποστέλλεται στους κόμβους η broadcast command. Τότε στους κόμβους ξεκινά η προετοιμασία λήψης των μετρήσεων και ο καθένας αποστέλλει ένα μήνυμα προετοιμασίας στον εξυπηρετητή, το οποίο εμφανίζεται αυτούσιο στο text area

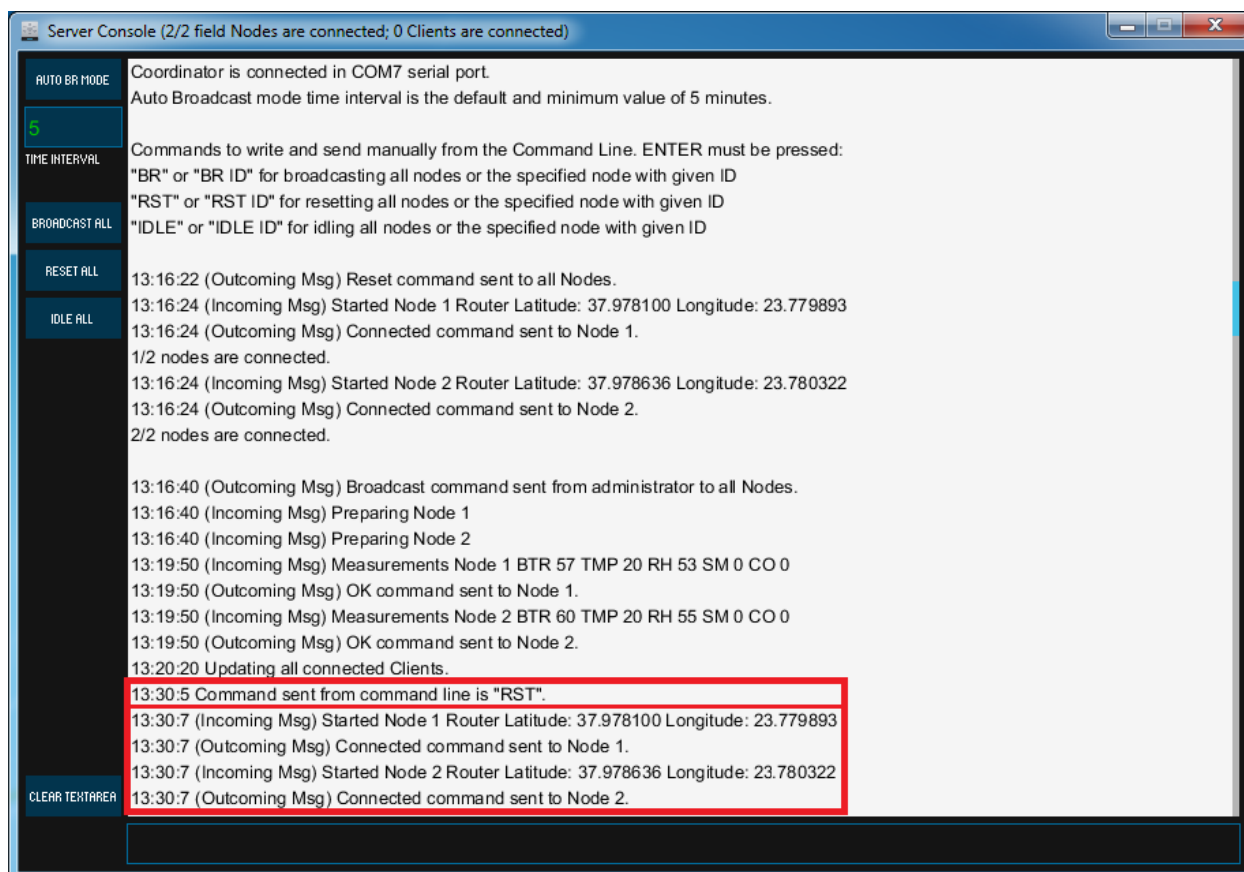
της διεπαφής. Όπως είναι γνωστό μόλις οι κόμβοι ετοιμάσουν τις μετρήσεις, έπειτα από την παρέλευση τριών λεπτών, τις αποστέλλουν επαναλαμβανόμενα στον εξυπηρετητή έως ότου αυτός τους αποστείλει την OK command. Τριάντα δευτερόλεπτα μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας λήψης μετρήσεων, ο εξυπηρετητής ενημερώνει τους συνδεδεμένους σε αυτόν πελάτες πως υπάρχει νέο ληφθέν πακέτο μετρήσεων. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνεται η ροή των ενεργειών αποστολής και λήψης συνοδευόμενη από τις χρονικές στιγμές στις οποίες συμβαίνουν.



Εικόνα 7.2. Διεπαφή του εξυπηρετητή με επισημασμένα α) τα μηνύματα για την προετοιμασία λήψης μετρήσεων σε δύο κόμβους, β) τα μηνύματα αποστολής και επιβεβαίωσης λήψης των μετρήσεων και γ) το μήνυμα ενημέρωσης των πελατών.

Τέλος, ελέγχεται η λειτουργία της γραμμής εντολών μέσω της χειροκίνητης εισαγωγής και αποστολής της συμβολοσειράς "RST" (reset command). Το ίδιο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται πατώντας το κουμπί με την ετικέτα "RESET ALL". Αυτό

που αναμένεται είναι οι κόμβοι να μεταβούν εκ νέου στην αρχική τους κατάσταση και να αποστέλλουν στον εξυπηρετητή τη συμβολοσειρά αναγνώρισης. Στην εικόνα που ακολουθεί αυτό επιτυγχάνεται και επαναλαμβάνεται η διαδικασία σύνδεσης των κόμβων στον εξυπηρετητή.

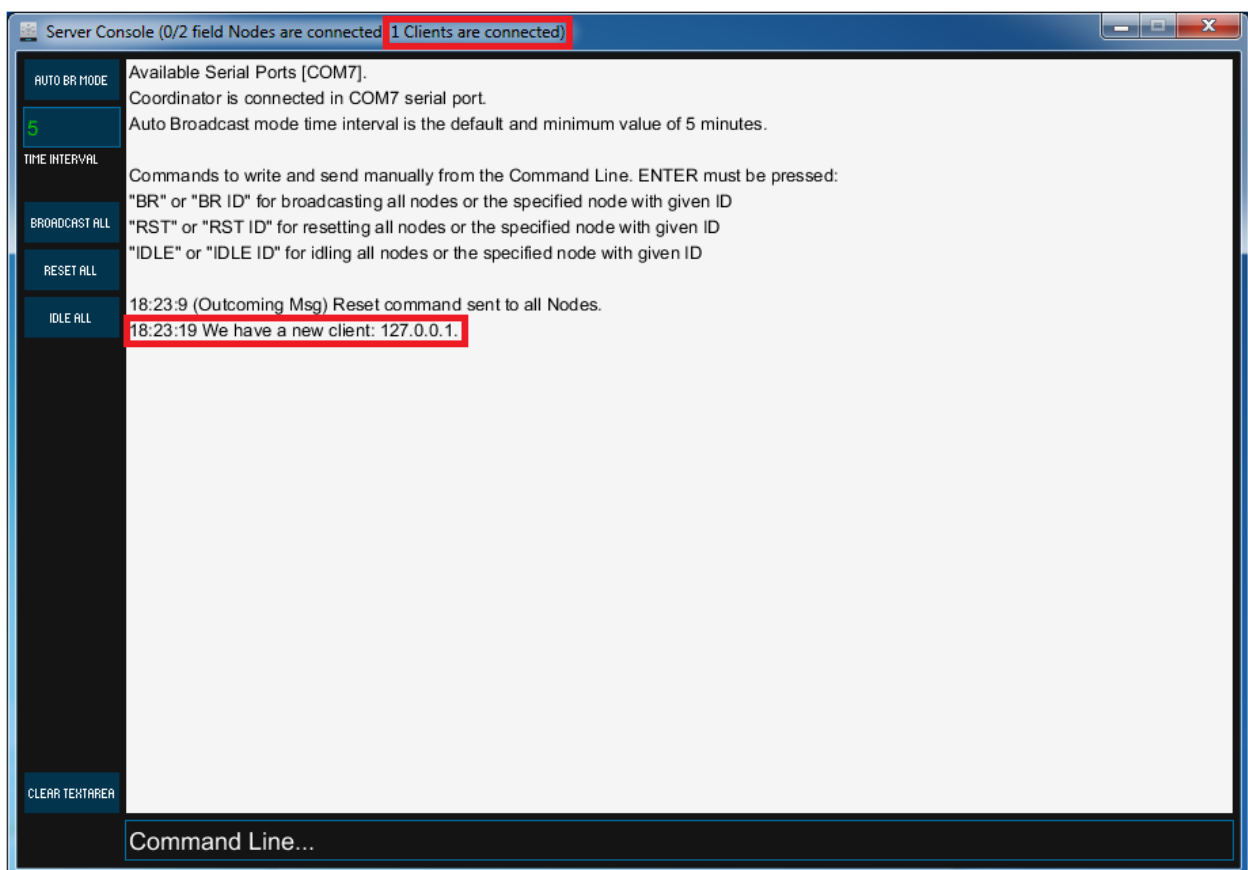


Εικόνα 7.3. Διεπαφή του εξυπηρετητή με επισημασμένο α) το μήνυμα της συμβολοσειράς "RST", η οποία εισήχθη στη γραμμή εντολών και β) τα μηνύματα της εκ νέου σύνδεσης των κόμβων στον εξυπηρετητή.

7.2.3 Επικοινωνία εξυπηρετητή - πελάτη

Στη συγκεκριμένη δοκιμή λαμβάνουν μέρος μόνο ο εξυπηρετητής με έναν πελάτη, χωρίς τη συμμετοχή των κόμβων. Συνεπώς, στο text area της διεπαφής του εξυπηρετητή δεν αναμένεται η εμφάνιση μηνυμάτων από πλευράς κόμβων, όπως εκείνα που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη υποενότητα.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ελεγχθεί εν προκειμένω είναι η συνδεσιμότητα του πελάτη με τον εξυπηρετητή. Από το προηγούμενο κεφάλαιο είναι γνωστό ότι κατά τη διαδικασία σύνδεσης ενός πελάτη στον εξυπηρετητή, ο πρώτος αποστέλλει στον δεύτερο μία συμβολοσειρά με το IP του. Εκτελείται, λοιπόν, η διαδικασία αυτή και παρατηρείται ότι στο text area του εξυπηρετητή εμφανίζεται πράγματι μήνυμα, το οποίο ενημερώνει τον χειριστή για την ύπαρξη νέου πελάτη με το IP του, και παράλληλα αυξάνεται ο μετρητής των συνδεδεμένων πελατών στον τίτλο της εφαρμογής, όπως μπορεί να φανεί στα κόκκινα πλαίσια της ακόλουθης εικόνας.

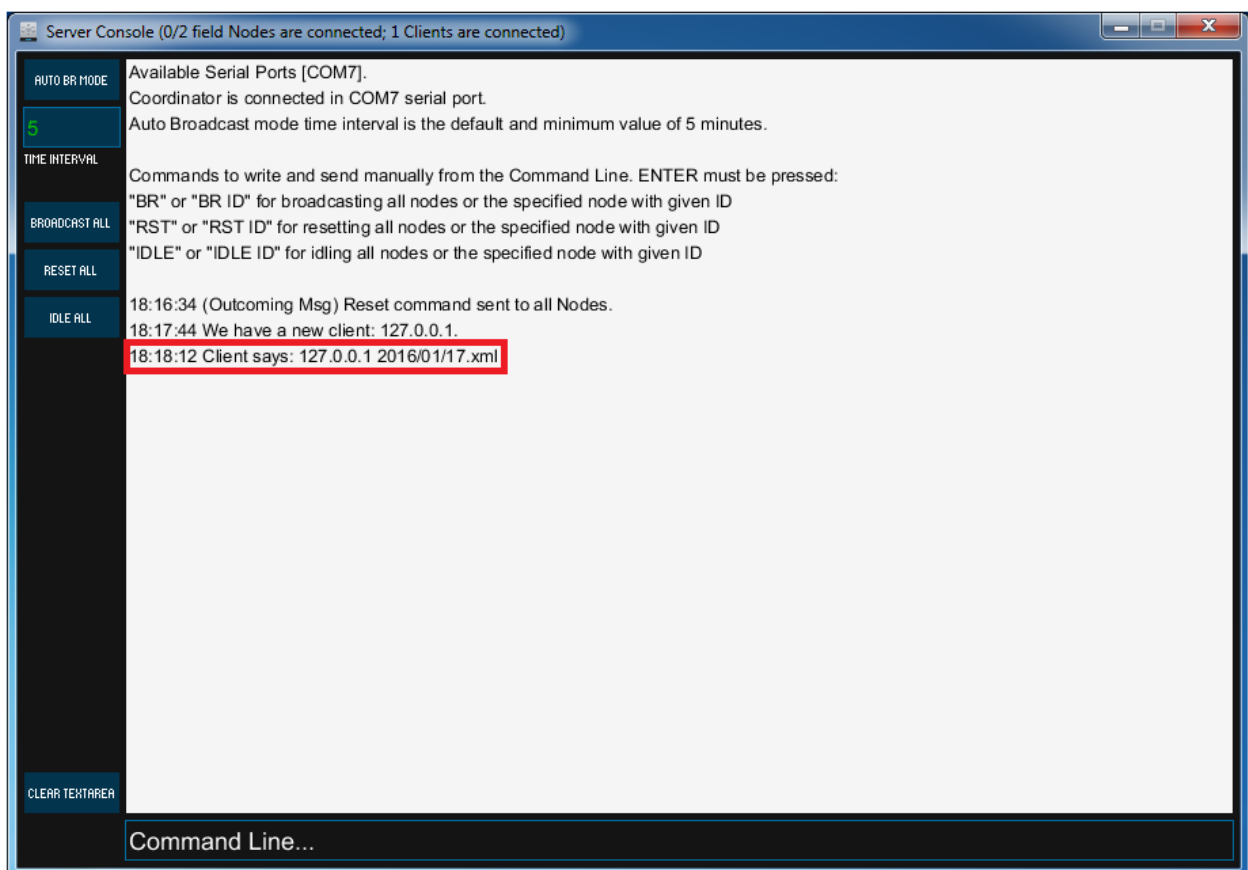


Εικόνα 7.4. Διεπαφή του εξυπηρετητή με επισημασμένο επάνω τον αριθμό των συνδεδεμένων πελατών και κάτω το μήνυμα το οποίο εμφανίζεται κατά τη σύνδεση ενός πελάτη.

Μετά την επιτυχή σύνδεση του πελάτη στον εξυπηρετητή, διαπιστώνεται ότι στον πρώτο είναι διαθέσιμα τα δεδομένα των μετρήσεων της τρέχουσας ημέρας.

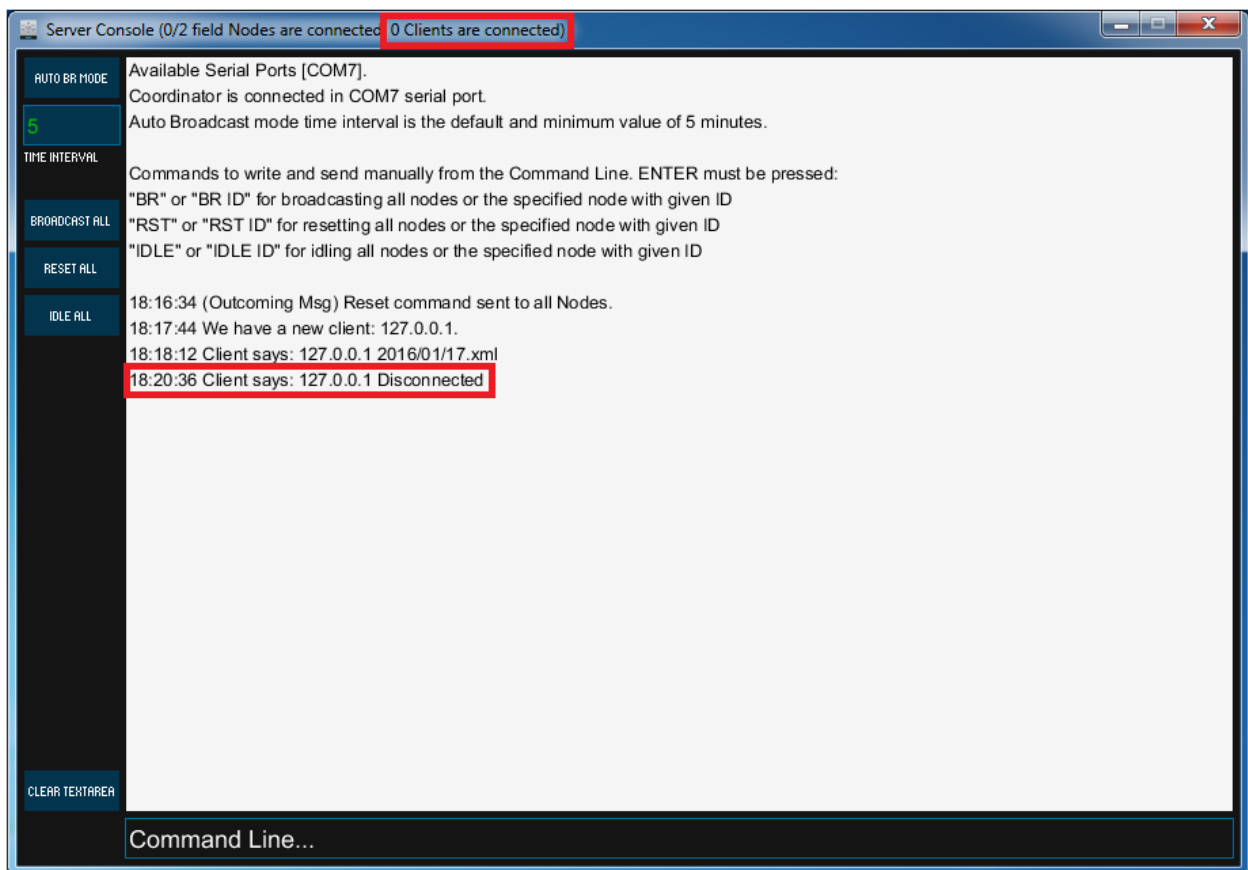
Ο πελάτης μπορεί τότε να εκτελέσει όλους τους ελέγχους (κατωφλιοποίηση τιμών, εμφάνιση δεδομένων για έναν κόμβο κ.ά.) και να απεικονίσει τα δεδομένα (μέσω γραφικών παραστάσεων κ.ά.) μέσω των επιλογών που περιγράφηκαν αναλυτικά στην Ενότητα 6.7.

Στη συνέχεια, ελέγχεται η δυνατότητα ο πελάτης να ζητήσει τις μετρήσεις αναφορικά με μία προηγούμενη ημερομηνία. Το αίτημα αυτό αποστέλλεται αυτόματα μόλις ο πελάτης επιλέξει μία από τις διαθέσιμες ημερομηνίες. Επιλέγοντας, στο παρόν παράδειγμα, την ημερομηνία "17/01/2016", παρατηρείται ότι στην διεπαφή του εξυπηρετητή εμφανίζεται το αντίστοιχο μήνυμα με το IP του πελάτη συνοδευόμενο από τον τίτλο του XML αρχείου για τη δεδομένη ημερομηνία, όπως επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 7.5. Διεπαφή του εξυπηρετητή με το μήνυμα αίτησης για τις μετρήσεις συγκεκριμένης ημερομηνίας από πλευράς ενός πελάτη.

Τέλος, ελέγχεται αν ο εξυπηρετητής ενημερώνεται κατάλληλα στην περίπτωση αποσύνδεσης του πελάτη. Κλείνοντας το πρόγραμμά του ο πελάτης μία συμβολοσειρά με το IP του συνοδευόμενο από τη λέξη "Disconnected" αποστέλλεται αυτόματα στον εξυπηρετητή. Με τη λήψη αυτής της συμβολοσειράς, στη διεπαφή του εξυπηρετητή αποτυπώνεται το περιεχόμενο αυτής, ενώ παράλληλα ενημερώνεται ο μετρητής στον τίτλο του παραθύρου αφαιρώντας τον πελάτη από το σύνολο, όπως μπορεί να φανεί στα κόκκινα πλαίσια της ακόλουθης εικόνας.



Εικόνα 7.6. Διεπαφή του εξυπηρετητή με επισημασμένο κάτω το μήνυμα το οποίο εμφανίζεται κατά την αποσύνδεση ενός πελάτη και επάνω τον ενημερωμένο αριθμό των συνδεδεμένων πελατών.

Σημειώνεται στο σημείο αυτό, ότι η επικοινωνία μεταξύ εξυπηρετητή και πελάτη έχει δοκιμαστεί και σε μη τοπικό επίπεδο και με περισσότερους συνδεδεμένους πελάτες με τα ίδια αποτελέσματα.

7.2.4 Ενεργειακός κύκλος ζωής των αισθητήριων κόμβων

Στην παρούσα υποενότητα εξετάζεται ο κύκλος ζωής του αισθητήριου κόμβου, δηλαδή υπολογίζεται ο ελάχιστος χρόνος εκφόρτισης και έπειτα ο ελάχιστος χρόνος φόρτισης της μπαταρίας του. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η αυτοματοποιημένη αποστολή της εντολής "BR" μέσω της επιλογής "AUTO BR MODE" στην εφαρμογή του εξυπηρετητή. Ως TIME INTERVAL επιλέγεται η μικρότερη δυνατή περίοδος, η οποία είναι 5 λεπτά. Μόλις εκφορτιστεί πλήρως η μπαταρία και απενεργοποιηθεί ο κόμβος, τότε στη θύρα mini USB συνδέεται ένα τροφοδοτικό τάσης 5Volt και ρεύματος έως και 2A, το οποίο ισοδυναμεί με ένα ηλιακό πάνελ ισχύος 10W. Κατά τη διάρκεια της φόρτισης συνεχίζεται η ίδια περιοδική αποστολή "BR" εντολών από τον εξυπηρετητή και μετράται ο ελάχιστος χρόνος φόρτισης της μπαταρίας. Ο χρόνος φόρτισης είναι ελάχιστος διότι με την επιλογή του συγκεκριμένου τροφοδοτικού εξασφαλίζεται ότι η μπαταρία φορτίζεται με το μέγιστο δυνατό ρεύμα, το οποίο επιτρέπει ο φορτιστής, δηλαδή 1A. Παράλληλα, με το συγκεκριμένο τροφοδοτικό καθίσταται δυνατή η συνέχιση της τροφοδότησης του κυκλώματος, το οποίο δεν τροφοδοτείται πλέον από την μπαταρία.

Προτού παρουσιαστεί το αποτέλεσμα του πειράματος, εκτελέστηκαν και παρουσιάζονται ενδεικτικές μετρήσεις στην έξοδο του ανυψωτή-σταθεροποιητή τάσης ως προς το ρεύμα, άρα και ως προς τη συνολική ισχύ την οποία παρέχει στο κύκλωμα, στις τρεις καταστάσεις του κόμβου και με ποσοστό μπαταρίας 55%.

Κατάσταση κόμβου	Τάση εξόδου σταθεροποιητή (V)	Ρεύμα εξόδου σταθεροποιητή (mA)	Ισχύς εξόδου σταθεροποιητή (mW)
Αρχική (Initial)	4.94	47.6	235.14
Ενεργή (Active)	4.77	131.5	627.26
Αδρανής (Idle)	4.93	39.4	194.24

Πίνακας 7.1. Μετρήσεις τάσης, ρεύματος και ισχύος εξόδου στον ανυψωτή-σταθεροποιητή.

Από τις ληφθείσες μετρήσεις παρατηρείται ότι η αδρανής είναι πράγματι η κατάσταση χαμηλότερης ενεργειακής κατανάλωσης, διότι σε λειτουργία βρίσκεται μόνο η XBee κεραία και ο αισθητήρας AM2301. Ακολουθεί, με μικρή διαφορά, η αρχική κατάσταση, στην οποία σε λειτουργία βρίσκονται εκτός των ανωτέρω στοιχείων και ο μικροελεγκτής. Τέλος, όπως ήταν αναμενόμενο, στην ενεργή κατάσταση ο κόμβος καταναλώνει την μεγαλύτερη ισχύ, η οποία μάλιστα είναι πολλαπλάσια σε σύγκριση με αυτές των υπολοίπων. Αυτό οφείλεται στη λειτουργία του αισθητήρα αερίων, ο οποίος όπως έχει αναφερθεί, απαιτεί μεγάλη ισχύ κατά τη λειτουργία του επηρεάζοντας αρνητικά την αυτονομία του αισθητήριου κόμβου.

Στην ακόλουθη εικόνα απεικονίζεται η γραφική παράσταση του ποσοστού της μπαταρίας σε εικοσιτετράωρη βάση κατά την εκφόρτιση και φόρτισή της.



Εικόνα 7.7. Καμπύλη ενεργειακού κύκλου ζωής της επαναφορτιζόμενης μπαταρίας, προβαλλόμενη στη διεπαφή του πελάτη. Στο επισημασμένο σημείο (15:33, 97) ξεκινά η εκ νέου εκφόρτιση της μπαταρίας.

Η διαδικασία της εκφόρτισης της πλήρως φορτισμένης μπαταρίας ξεκινά με την αλλαγή της ημέρας στις 0:00 και διαρκεί όπως μπορεί να φανεί περίπου 12 ώρες.

Με την πλήρη εκφόρτισή της, στην θύρα mini USB συνδέεται το τροφοδοτικό και ξεκινά η διαδικασία της φόρτισής της. Η διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου 3 ώρες, διότι η μπαταρία έχει χωρητικότητα 2600mAh και η φόρτιση της γίνεται με ρεύμα περίπου 1A. Μόλις η μπαταρία φορτιστεί πλήρως το τροφοδοτικό αποσυνδέεται και ξεκινά και πάλι η εκφόρτισή της μέχρι το τέλος της ημέρας. Υπενθυμίζεται ότι το ποσοστό της μπαταρίας υπολογίζεται στον μικροελεγκτή του κόμβου και προκύπτει από την αντιστοίχιση της τιμής της τάσης αυτής από το εύρος τάσεων λειτουργίας της, δηλαδή 2.75 έως 4.2Volt, στο εύρος 0 έως 100%.

7.3 Βελτιώσεις συστήματος

Τα συστήματα παρακολούθησης δασικών περιοχών αποτελούν μεγάλο σύμμαχο για τις περιοχές που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο εκδήλωσης πυρκαγιάς. Η έγκαιρη ανίχνευση εστιών φωτιάς μπορεί να συμβάλλει όχι μόνο στη διατήρηση των συνεχώς συρρικνούμενων περιοχών πρασίνου, αλλά και στην πρόληψη απώλειας ανθρωπίνων ζωών. Συνεπώς, η μελέτη και η περαιτέρω εξέλιξη τέτοιων συστημάτων, πέρα από το επιστημονικό και τεχνολογικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν, επιβάλλεται να συνεχιστούν.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μία ολοκληρωμένη προσπάθεια ανάπτυξης ενός συστήματος παρακολούθησης λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στις δασικές περιοχές. Όπως φάνηκε στην Ενότητα 7.2, με τη χρήση του συστήματος θα μπορούσε να υπάρξει αποτελεσματική επίβλεψη μιας περιοχής παρακολούθησης. Στο πλαίσιο, ωστόσο, του εγχειρήματος αυτού ήταν απαραίτητο να γίνουν κάποιες απλοποιήσεις και εκ των προτέρων θεωρήσεις, με αποτέλεσμα το αναπτυχθέν σύστημα να επιδέχεται βελτιώσεων.

Η βασικότερη βελτίωση του συστήματος συνίσταται στην ενεργειακή του αυτονομία. Το σύστημα όπως αναπτύχθηκε περιλαμβάνει στους κόμβους του μία επαναφορτιζόμενη μπαταρία λιθίου, η οποία υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας και χωρίς επαναφόρτιση διαρκεί το ελάχιστο 12 ώρες. Είναι προφανές ότι η

μπαταρία αυτή πρέπει με κάποιο τρόπο να επαναφορτίζεται αυτόματα, καθώς είναι πρακτικά αδύνατη, αλλά και ασύμφορη η χειρωνακτική επαναφόρτισή της, ακόμη και στην περίπτωση χρήσης μπαταριών μεγαλύτερης διάρκειας ζωής. Η λύση του προβλήματος αυτού έγκειται στη χρήση και ενσωμάτωση ενός ηλιακού πάνελ σε κάθε αισθητήριο κόμβο. Η ιδέα αυτή, εντούτοις, ήταν δύσκολο να υλοποιηθεί διότι το κόστος ενός ηλιακού πάνελ ισχύος εξόδου αντίστοιχης με εκείνη του συμβατικού, χρησιμοποιούμενου τροφοδοτικού είναι αυξημένο.

Πέραν τούτου, βελτίωση θα μπορούσε να υποστεί και η βαθμονόμηση του αισθητήρα αερίων. Σημειώνεται εδώ ότι η βαθμονόμησή του έγινε ακολουθώντας τη μεθοδολογία της εταιρίας Sandbox Electronics [19], η οποία όπως η ίδια υποστηρίζει έγινε για λόγους επίδειξης και χρήζει περαιτέρω βαθμονόμησης για χρήση σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Βέβαια, ακόμη και στην περίπτωση μη ακριβούς βαθμονόμησης, οι διαφοροποιήσεις στις μετρούμενες τιμές υποδηλώνουν μεταβολές στις επικρατούσες συνθήκες της δασικής περιοχής.

Όσον αφορά στους κόμβους, η κατασκευή τους μπορεί να βελτιωθεί εφαρμόζοντας ειδικές διαμορφώσεις, προκειμένου οι αισθητήρες να βρίσκονται εκτός του κουτιού με σκοπό την ορθότερη λήψη μετρήσεων και τον περιορισμό της εισροής αέρα και υγρασίας σε αυτό. Περαιτέρω, κάτι που θα επιδρούσε θετικά στο συνολικό μέγεθος του κουτιού είναι η μείωση του μεγέθους των περιεχόμενων σε αυτό κυκλωμάτων. Στην παρούσα εργασία για λόγους προτυποποίησης (prototyping) χρησιμοποιήθηκαν αρθρωτές (modular) λύσεις, οι οποίες είναι ογκώδεις και ενεργειακά δαπανηρές, με σκοπό τη διαπίστωση της σωστής λειτουργίας του κυκλώματος. Αντ' αυτού, το κύκλωμα θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί εκ νέου με μικρότερα κυκλωματικά στοιχεία, πχ τύπου SMD.

Μία φιλόδοξη, αλλά όχι ακατόρθωτη βελτίωση του συστήματος, θα ήταν η δυνατότητα ασύρματου προγραμματισμού του μικροελεγκτή των κόμβων μέσω του συντονιστή. Στο παρόν σύστημα, αν ο διαχειριστής επιθυμεί να αλλάξει το πρόγραμμα των μικροελεγκτών, είναι απαραίτητο αυτοί να αφαιρεθούν από το σημείο εγκατάστασής τους, να επαναπρογραμματιστούν σε εργαστηριακό χώρο

και να τοποθετηθούν εκ νέου στη δασική περιοχή. Επιχειρήθηκε μία προσπάθεια προς την κατεύθυνση αυτήν επανασχεδιάζοντας το κύκλωμα και προσθέτοντας κατάλληλα στοιχεία. Ωστόσο, λόγω της αύξησης της πολυπλοκότητας και του όγκου του κυκλώματος του κόμβου σε συνδυασμό με προκύπτοντα προβλήματα συγχρονισμού μεταξύ αυτού και του συντονιστή, δεν κατέστη δυνατή η ολοκλήρωση της προσπάθειας αυτής.

Στο πλαίσιο της κυκλωματικής επέκτασης του κόμβου θα μπορούσε να ενσωματωθεί αρχικά ένα GPS, με τη χρήση του οποίου η αναγνώριση των συντεταγμένων του εκάστοτε κόμβου στον εξυπηρετητή θα εκτελούνταν αυτόματα. Ως αποτέλεσμα, θα παρεχόταν η δυνατότητα μετακίνησης του κόμβου σε διαφορετικά γεωγραφικά σημεία χωρίς την ανάγκη χειροκίνητης ενημέρωσης των νέων συντεταγμένων στο πρόγραμμα του μικροελεγκτή. Έπειτα, θα μπορούσε να ενσωματωθεί η δυνατότητα αποθήκευσης δεδομένων και μετρήσεων σε τοπικό επίπεδο, πχ σε SD κάρτα ή στην EEPROM μνήμη του μικροελεγκτή, προκειμένου ακόμη και στην περίπτωση απενεργοποίησης του κόμβου τα δεδομένα αυτά να παραμένουν αποθηκευμένα και προσπελάσιμα. Τέλος, ανάλογα με τα επιθυμητά προς μέτρηση μεγέθη μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλοι για την εκάστοτε περίπτωση αισθητήρες. Όλα τα παραπάνω μπορούν να επιτευχθούν χάρη στην επεκτασιμότητα και στην ευκολία προγραμματιστικής ενσωμάτωσης που προσφέρει ο παρών μικροελεγκτής.

Επιπρόσθετα, είναι επιβεβλημένο τόσο το παρόν σύστημα όσο και οποιαδήποτε περαιτέρω διαμόρφωσή του να δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες δασικής έκτασης χρησιμοποιώντας περισσότερους κόμβους διότι όπως επισημάνθηκε αρκετές φορές, το αναπτυχθέν σύστημα εφαρμόστηκε σε συνθήκες εργαστηρίου. Η επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης των κόμβων θα μπορούσε επίσης να γίνει βάσει μαθηματικών και γεωμορφολογικών μοντέλων ανάλυσης της εκάστοτε περιοχής ενδιαφέροντος, σε συνδυασμό με τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες της, διεξάγοντας παράλληλα μετρήσεις πεδίου ώστε να εξασφαλίζεται η συνοχή του συστήματος. Αξίζει όμως να σημειωθεί, ότι οι αποστάσεις επικοινωνίας

του σεναρίου έχουν επαληθευτεί και πειραματικά σε ανοικτή πευκόφυτη περιοχή της Πολυτεχνειούπολης. Η εφαρμογή του συστήματος σε πραγματικές καιρικές συνθήκες θα υποδείξει με σαφήνεια τα σημεία που επιδέχονται βελτίωσης στο παρόν σύστημα.

Επιπλέον, πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα παρακολούθησης δεν περιορίζεται αυστηρά στη διαμόρφωση που παρουσιάστηκε στην παρούσα εργασία, χωρίς βέβαια αυτό να επιδρά περιοριστικά στις ιδέες που τη χαρακτηρίζουν. Για παράδειγμα, το δίκτυο θα μπορούσε να διαρθρωθεί σε τοπολογία δέντρου, αντί αστέρα που εφαρμόζεται εδώ. Δηλαδή, εν προκειμένω, ο ένας εκ των δύο κόμβων θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως τερματική συσκευή (ZigBee End Device) και ο δεύτερος ως δρομολογητής (ZigBee Router), ο οποίος θα μεταβίβαζε τα μηνύματα του πρώτου, στον συντονιστή, αυξάνοντας έτσι την απόσταση κάλυψης.

Τέλος, στις διεπαφές του εξυπηρετητή και του πελάτη θα μπορούσαν να συμπεριληφθούν περισσότερα χαρακτηριστικά, ανάλογα με τις ανάγκες ή τις επιθυμίες των χρηστών του συστήματος, όπως για παράδειγμα η κατωφλιοποίηση των τιμών των μετρήσεων από πλευράς πελάτη για κάθε κόμβο ξεχωριστά.

7.4 Συμπέρασμα

Έχοντας εκτελέσει τον έλεγχο της λειτουργίας του συστήματος παρακολούθησης μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι υπό τις δεδομένες συνθήκες η επικοινωνία μεταξύ αισθητήριων κόμβων και εξυπηρετητή και μεταξύ εξυπηρετητή και πελάτη λειτουργεί απρόσκοπτα και κατά τον αναμενόμενο τρόπο. Συγκεκριμένα, οι συμβολοσειρές-εντολές αποστέλλονται ορθά από πλευράς του εξυπηρετητή προς τους αισθητήριους κόμβους, με αποτέλεσμα αυτοί να πραγματοποιούν και να αποστέλλουν τις μετρήσεις με το σωστό τρόπο και στον καθορισμένο χρόνο. Από την άλλη πλευρά, οι πελάτες μπορούν να συνδέονται και να αποσυνδέονται επιτυχώς από τον εξυπηρετητή καθώς και να απεικονίζουν τα δεδομένα των μετρήσεων στο γραφικό τους περιβάλλον. Επίσης, ο εξυπηρετητής αναγνωρίζει σωστά το αίτημα από πλευράς του πελάτη για τις καταγραφές μίας από τις διαθέσιμες ημερομηνίες και αποστέλλει ορθά τα δεδομένα του αντίστοιχου XML αρχείου.

Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι το θεωρούμενο σενάριο είναι απλουστευμένο και παρουσιάζει πολλούς περιορισμούς, με κύριο αυτόν της ενεργειακής αυτονομίας των κόμβων. Για το λόγο αυτό κρίνεται αναγκαία η περαιτέρω ανάπτυξη του παρόντος συστήματος παρακολούθησης, με γνώμονα την ενσωμάτωση σε αυτό ηλιακών πάνελ στους αισθητήριους κόμβους. Κλείνοντας, το συμπέρασμα το οποίο μπορεί να εξαχθεί είναι πως το αναπτυχθέν σύστημα της παρούσας μελέτης αποτελεί μία σημαντική βάση για την ανάπτυξη πολυπλοκότερων συστημάτων παρακολούθησης δασικών περιοχών.

Βιβλιογραφία

- [1] I. Karafilovski, V. Zdraveski και D. Trajanov, «Case studies of forest fire detection systems,» σε *11th International Conference on Informatics and Information Technologies (CIIT)*, Bitola, 2014.
- [2] Wikipedia, «Wireless sensor network,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network. [Πρόσβαση 2015].
- [3] A. Moschitta και I. Neri, ICT - Energy - Concepts Towards Zero - Power Information and Communication Technology, InTech, 2014.
- [4] P. Krishnaveni και J. Dr. Sutha, «Analysis of routing protocols for wireless sensor networks,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2012.
- [5] S. Sharma, D. Kumar και K. Kishore, «Wireless Sensor Networks- A Review on Topologies and Node Architecture,» *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 2013.
- [6] D. Sharma, S. Verma και K. Sharma, «Network Topologies in Wireless Sensor Networks: A Review,» *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2013.
- [7] H. M. Ammari (Ed.), *The Art of Wireless Sensor Networks Volume 1: Fundamentals*, τόμ. 1, New York City: Springer, 2014.
- [8] J. Granjal, E. Monteiro, J. Sa Silva, «Enabling network-layer security on IPv6 wireless sensor,» σε *IEEE GLOBECOM*, 2010.
- [9] S. Raza, S. Duquennoy, T. Chung, D. Yazar, T. Voigt, U. Roedig, «Securing communication in 6LoWPANwith compressed IPsec,» σε *Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)*, 2011.
- [10] A. Sahu, M. Cardei και E. B. Fernandez, «A Pattern for a Sensor Node,» 2010.

- [11] H. Choudhary, «Difference between Microprocessor and Microcontroller,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.engineersgarage.com/tutorials/difference-between-microprocessor-and-microcontroller#>. [Πρόσβαση 2015].
- [12] Amandeep Alag, «Embedded systems, 8051 microcontroller,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.slideshare.net/aman7alag/embedded-systems-8051-microcontroller>. [Πρόσβαση 2015].
- [13] K. Ross, «The Basics - Sensors,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.seattlerobotics.org/encoder/jul97/basics.html>. [Πρόσβαση 2015].
- [14] Learn SparkFun, «Serial Communication,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication/all>. [Πρόσβαση 2015].
- [15] Wikipedia, «Embedded system,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system. [Πρόσβαση 2015].
- [16] SparkFun Electronics, «XBee Buying Guide,» [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.sparkfun.com/pages/xbec_guide. [Πρόσβαση 2015].
- [17] F. Montoya Capote, «Kernel Least Squares Regression Using Waspmote Volume 2 Chapter 5,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12027/direccion/Volumen2%252F>. [Πρόσβαση 2015].
- [18] Digi International, «Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol,» Digi International Inc., 23 9 2009. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Wireless/Zigbee/XBee-Datasheet.pdf>. [Πρόσβαση 2015].
- [19] sandboxelectronics, «MQ-2 Smoke/LPG/CO Gas Sensor Module,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://sandboxelectronics.com/?p=165>. [Πρόσβαση 2015].
- [20] Wikipedia, «Arduino,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>. [Πρόσβαση 2015].
- [21] arduino.cc, «ArduinoToBreadboard,» [Ηλεκτρονικό]. Available:

<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>. [Πρόσβαση 2015].

[22] Learn SparkFun, «Installing an Arduino Bootloader,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/installing-an-arduino-bootloader>. [Πρόσβαση 2015].

[23] arduino.cc, «MQGasSensors,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>. [Πρόσβαση 2015].

[24] RAD.E8 (Sascha HÃ¶hne), «Network Server Icon,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.veryicon.com/icons/system/minium2/network-server-2.html>. [Πρόσβαση 2015].

[25] Tooschee, «Blue Fire Icon,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.softicons.com/system-icons/kaito-icon-set-by-tooschee/blue-fire-icon>. [Πρόσβαση 2015].