

Πανεπιστήμιο Πειραιώς



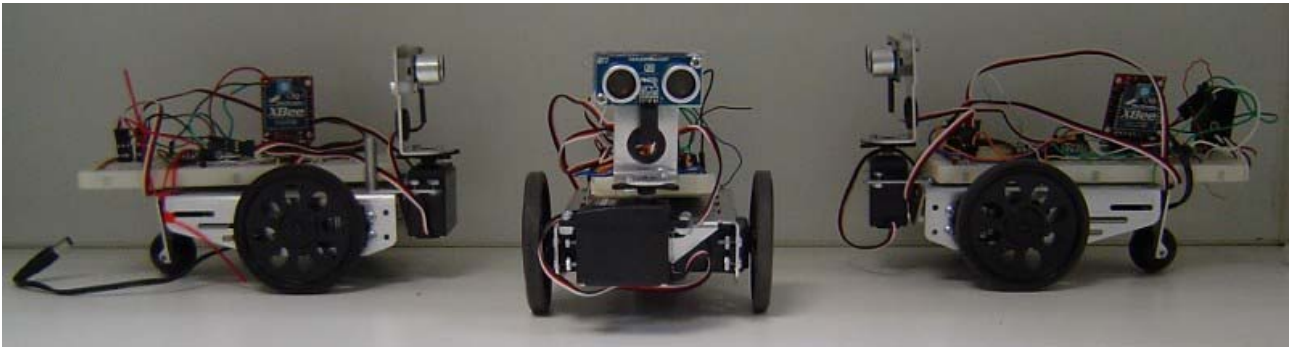
Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

ΠΜΣ “Διδακτική της Τεχνολογίας και Ψηφιακά Συστήματα”

Κατεύθυνση “Ψηφιακές Επικοινωνίες και Δίκτυα”

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ
ΜΕ ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Σταματούλης Ιωάννης

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την διπλωματική εργασία έγινε σχεδιασμός και ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων που περιλαμβάνει κίνηση στους κόμβους εφόσον οι τιμές των παραμέτρων που μετρούν οι αισθητήρες ανέβουν πάνω από ένα προκαθορισμένο όριο που υπάρχει ανά μέγεθος που ελέγχει ο κάθε κόμβος.

Αρχικά γίνεται μία βιβλιογραφική αναφορά σε όλα τα πρωτόκολλα και τους τρόπους ασύρματης δικτύωσης. Ακόμα εξηγούνται οι τρόποι λειτουργίας των διάφορων αισθητήρων που περιλαμβάνονται στον κόμβο καθώς και τα διάφορα είδη κόμβων που υπάρχουν.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά όλου του υλικού που χρησιμοποιήθηκε καθώς και οι λόγοι που επιλέχτηκαν τα συγκεκριμένα υλικά σε σχέση με κάποια άλλα αντίστοιχα που υπήρχαν στην αγορά.

Αμέσως μετά γίνεται επεξήγηση της λογικής που ακολουθήθηκε και επίσης αναλύονται με διαγράμματα ροής και ψευδοκώδικα τα πιο σημαντικά κομμάτια του κώδικα που τρέχουν σε κάθε κόμβο.

Ακόμα υπάρχουν και τα αποτελέσματα ενός εικονικού σεναρίου χρήσης της εφαρμογής σε ένα κλειστό χώρο ο οποίος αντιμετωπίζει απότομη αύξηση της θερμοκρασίας. Μετά παρατίθενται συμπεράσματα από την εκτέλεση της εργασίας καθώς και προτάσεις για περαιτέρω ανάπτυξη και εξέλιξη της υπάρχουσας εργασίας από άλλους σπουδαστές/ερευνητές.

Τέλος επισυνάπτονται τα φύλλα δεδομένων όλων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, ο πηγαίος κώδικας που εκτελείται στους κόμβους, η βιβλιογραφία και πίνακας με όλες τις εικόνες της εργασίας.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ασύρματο δίκτυο, αισθητήρες, μικροελεγκτές, κόμβοι, boe bot, arduino, xbee, σερβομηχανισμοί

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θερμές ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αθανάσιο Κανάτα για την επίβλεψη και τη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο	Σελίδα
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	
Πρωτόκολλα Ασύρματης Δικτύωσης.....	9
1.1 Πομποδέκτες με συχνότητα λειτουργίας τα 433Mhz.....	9
1.2 Wifi.....	10
1.3 Bluetooth.....	11
1.4 ZigBee.....	11
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	
Αισθητήρια.....	13
2.1 Αισθητήρες Θερμοκρασίας.....	13
2.2 Αισθητήρες Επιτάχυνσης.....	14
2.3 Αισθητήρες Φωτός.....	15
2.4 Αισθητήρες Υπερήχων (Απόστασης).....	16
2.5 Μαγνητικοί Αισθητήρες (Πυξίδες).....	17
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	
Κόμβοι.....	18
3.1 Στατικοί.....	18
3.2 Κινούμενοι.....	19
3.3 Αιωρούμενοι.....	20
3.4 Επιλογή για την εφαρμογή.....	21
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ	
Επιλογή Υλικού.....	22
4.1 Wireless.....	22

4.1.1 Xbee Series One.....	22
4.2 Μικροελεγκτής.....	23
4.2.1 Arduino Platform.....	23
4.3 Σέρβομηχανισμοί.....	25
4.3.1 Κλασικός σερβομηχανισμός.....	26
4.3.2 Σερβομηχανισμοί συνεχούς κίνησης.....	26
4.4 Αισθητήρες.....	27
4.4.1 Θερμοκρασία.....	27
4.4.2 Επιτάχυνση.....	28
4.4.3 Πυξίδια.....	28
4.4.4 Υπερήχων (Απόστασης).....	29
4.5 Υπόλοιπα υλικά.....	30
4.5.1 Σταθεροποιητές τάσης.....	30
4.5.2 Παρασιτικοί πυκνωτές.....	31
4.5.3 Λοιπά στοιχεία.....	32
4.6 Σύνδεση με υπολογιστή.....	33
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ	
Ανάπτυξη Λογισμικού.....	34
5.1 Κόμβος.....	34
5.1.1 Κύριος κορμός προγράμματος.....	35
5.1.2 Αρχικοποίηση μικροελεγκτή.....	37
5.1.3 Αρχική κίνηση στον χώρο.....	40
5.1.4 Πλοήγηση στον χώρο.....	42
5.1.5 Ανάγνωση τοπικών αισθητήρων και αποστολή πακέτου.....	45
5.1.6 Δημιουργία πακέτου δεδομένων που αποστέλλεται.....	48

5.1.7 Ανάγνωση πακέτων από άλλους κόμβους.....	50
5.1.8 Αντίστροφη πλοήγηση στον χώρο.....	52
5.1.9 Επιτυχής προσανατολισμός για σωστή αντίστροφη πλοήγηση.....	55
5.2 Υπολογιστής.....	58
5.2.1 Πρόγραμμα σύνδεσης με τον υπολογιστή.....	59
5.2.2 Ρυθμίσεις Xbee.....	60
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ	
Πειραματική Εφαρμογή.....	63
6.1 Σενάριο δοκιμής.....	63
6.2 Εκτέλεση δοκιμής.....	64
6.3 Αποτελέσματα δοκιμής.....	68
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ	
Συμπεράσματα & Προτάσεις.....	70
7.1 Συμπεράσματα.....	70
7.2 Εφαρμογές.....	70
7.2.1 Έλεγχος και ασφάλεια σε σπίτι/επαγγελματικό χώρο.....	71
7.2.2 Πρόληψη επέκτασης πυρκαγιών σε δάση.....	71
7.2.3 Παρακολούθηση πολλαπλών ασθενών σε νοσοκομεία	72
7.2.4 Έλεγχος κατανάλωσης ενέργειας συσκευών	73
7.3 Μελλοντική εξέλιξη.....	73
7.3.1 Μέτρηση & παρακολούθηση περισσότερων μεγεθών.....	73
7.3.2 Φωτοβολταικά πάνελ για μέγιστη αυτονομία.....	74
7.3.3 Αυτόματη εύρεση σταθμού φόρτισης του κόμβου.....	75
7.3.4 Αιωρούμενος Κόμβος.....	76
7.3.5 Αισθητήρες εύρεσης θέσης GPS.....	77

7.3.6 Δημιουργία αρχείου (log) των δεδομένων των αισθητήρων.....	78
7.3.7 Θέματα εντοπισμού πομποδεκτών σε Wireless Sensor Network...79	79
7.3.8 Συνεργατικές τεχνικές αντιμετώπισης κρίσεων.....	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	81
ΚΩΔΙΚΑΣ.....	82
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	83
DATASHEETS.....	85

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Πρωτόκολλα Ασύρματης Δικτύωσης

Μεγάλο ποσοστό της εργασίας στηρίζεται στα ασύρματα δίκτυα. Τα ασύρματα δίκτυα μας δίνουν την δυνατότητα της ανταλλαγής πληροφοριών ασύρματα, μέσω ενός φυσικού διαύλου, του αέρα.

Υπάρχουν διαφορετικές τεχνολογίες και διαφορετικά πρωτόκολλα που συνιστούν διάφορους τρόπους ασύρματης ζεύξης μεταξύ συσκευών. Η κάθε τεχνολογία απευθύνεται για κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές. Η λανθασμένη επιλογή ασύρματης τεχνολογίας μπορεί να είναι η αχίλλειος πτέρνα του όλου συστήματος διότι μπορεί να δημιουργήσει απώλειες πακέτων στην επικοινωνία καθώς και μειωμένη εμβέλεια ή και άλλα προβλήματα.

Στην τρέχουσα εφαρμογή ως καλύτερη λύση θεωρήθηκε η χρησιμοποίηση του πρωτοκόλλου Zigbee λόγω της ευελιξίας του και του χαμηλού κόστους του σε σχέση με τα υπόλοιπα πρωτόκολλα και κυρίως λόγω της υπερβολικά χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας που είναι πολύ σημαντική για τον κάθε κόμβο, διότι έτσι μπορεί να είναι ενεργός για πολύ περισσότερες ώρες.

1.1 Πομποδέκτες με συχνότητα λειτουργίας τα 433Mhz

Η συχνότητα λειτουργίας συνήθως είναι κάτω από 1GHz και με πιο κοινώς διαδεδομένη τα 433,92MHz. Η εμβέλεια είναι κάτω από 100 μέτρα και απαιτεί να υπάρχει οπτική επαφή μεταξύ των δύο module γεγονός που δυσκολεύει πολύ την χρήση του. Ακόμα ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων είναι ιδιαίτερα χαμηλός, συνήθως από 1200bps μέχρι 9600bps.

Αν γινόταν χρήση αυτής της τεχνολογίας θα υπήρχαν πολύ περισσότερα λάθη στην αποστολή και λήψη διότι κάποια από τα δεδομένα ίσως αλλοιωνόταν και αυτή η διαδικασία ελέγχου και αξιολόγησης πακέτων θα έπρεπε να περάσει στον μικροελεγκτή ενώ άλλες τεχνολογίες κάνουν αυτόν τον έλεγχο πάνω στο ασύρματο



Εικόνα 1: Ένα RF module με εμβέλεια 75 μέτρα.

module. Επίσης μεγάλο μειονέκτημα είναι ότι στα περισσότερα module αυτού του τύπου, για να υπάρχει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των κόμβων χρειάζεται να υπάρχει ένα module για την αποστολή δεδομένων αλλά και ένα module για την λήψη τους.

Τέλος ένα μεγάλο πλεονέκτημα των RF module είναι το πολύ χαμηλό τους κόστος καθώς και η χαμηλή τους κατανάλωση που τους κάνουν ιδανικούς για εφαρμογές που η κατανάλωση ενέργειας παίζει μεγάλο ρόλο.

1.2 Wifi

Το wifi στηρίζεται στο στάνταρ 802.11 της IEEE¹ το οποίο δημιουργήθηκε για να υποστηρίζει την ασύρματη δικτύωση μεταξύ συσκευών σε έναν χώρο. Η συχνότητα λειτουργίας είναι στα 2.4GHz, 3.7GHz και 5GHz ανάλογα με την έκδοση. Χρησιμοποιείται σε διάφορες συσκευές όπως υπολογιστές, εκτυπωτές, κινητά τηλέφωνα, παιχνιδιομηχανές, φορητές συσκευές MP3 και πολλά άλλα.



Εικόνα 2: Το λογότυπο των δικτύων Wi-Fi.

Ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εξαρτάται από ποια έκδοση του στάνταρ γίνεται χρήση και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 288.9Mbps, με την χρήση του 802.11n και με την βοήθεια της τεχνολογίας MIMO², για το uplink αλλά και το downlink. Η εμβέλεια, ανάλογα με την έκδοση, μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 250 μέτρα. Επίσης προσφέρει πολύ ισχυρά επίπεδα ασφάλειας, που κάνουν την οποιαδήποτε επικοινωνία μέσω αυτού του πρωτοκόλλου ιδιαίτερα ασφαλή. Η χρήση του προορίζεται κυρίως για mobile internet λόγω των πολύ μεγάλων ρυθμών μετάδοσης δεδομένων που μπορεί να υποστηρίξει.

Όμως το κόστος του κάθε module είναι σχετικά ακριβό και παρόλο ότι έχει πολλές δυνατότητες, αυτές δεν θα μπορούν να αξιοποιηθούν στην τρέχουσα εφαρμογή οπότε κρίνεται ότι δεν είναι η καλύτερη δυνατή λύση για την εφαρμογή.

¹ IEEE = Institute of Electrical and Electronics Engineers

² MIMO = Multiple Input Multiple Output

1.3 Bluetooth

Το Bluetooth είναι ένα ανοιχτό πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης που δημιουργήθηκε περίπου το 1994, με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων σε κοντινές αποστάσεις συνήθως μέσω φορητών συσκευών, όπως κινητά, laptop κτλ.

Η συχνότητα λειτουργίας του είναι ανάμεσα στα 2402-2480 MHz η οποία χωρίζεται σε 79 κανάλια με εύρος ζώνης του 1MHz. Η θεωρητική του εμβέλεια είναι από ένα μέτρο έως



Εικόνα 3: Το επίσημο λογότυπο για τις συσκευές με Bluetooth.

και 100 μέτρα ανάλογα την κλάση που ανήκουν οι συσκευές. Οπτική επαφή δεν είναι απαραίτητη να υπάρχει αλλά η πραγματική του όμως εμβέλεια δύσκολα επιτυγχάνει τις θεωρητικές τιμές. Επίσης η ισχύ εκπομπής ξεκινάει από 1mW και μπορεί να φτάσει έως τα 100mW.

Οι περισσότερες συσκευές της εποχής περιλαμβάνουν έναν πομποδέκτη τεχνολογίας bluetooth ο οποίος τους επιτρέπει να επικοινωνούν και να δημιουργούν μικρά δίκτυα για ανταλλαγή δεδομένων με αυξημένα επίπεδα ασφάλειας σε σχέση με άλλα ασύρματα δίκτυα. Επίσης η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για ασύρματη μετάδοση του ήχου από κινητά προς ασύρματα ακουστικά ή ακόμα και από συσκευές αναπαραγωγής ήχου προς ασύρματα ηχεία.

Ένα από τους λόγους που δεν επιλέχτηκε η τεχνολογία του bluetooth να συνδέει ασύρματα όλους τους κόμβους της εφαρμογής είναι η μικρή εμβέλεια που διαθέτει. Ακόμα και αν γινόταν χρήση συσκευών bluetooth κλάσης 1 που έχουν ισχύ εκπομπής τα 100mW και θεωρητική εμβέλεια 100 μέτρα πάλι δεν θα ήταν αρκετό για να γίνει κάλυψη ενός μεγάλου εσωτερικού χώρου.

1.4 ZigBee

Το ZigBee αποτελεί ένα σύνολο προδιαγραφών για την δημιουργία ενός πρωτοκόλλου ασύρματης δικτύωσης υψηλού επιπέδου, χαμηλής ισχύς εκπομπής το οποίο βασίζεται στο IEEE 802.15.4-2003 πρωτόκολλο το οποίο δημιουργήθηκε για την ασύρματη δικτύωση εντός ενός κλειστού χώρου, με σκοπό να ελέγχονται ασύρματα οικιακές συσκευές.

Κύριος σκοπός αυτής της τεχνολογίας είναι να δημιουργηθεί ένα στάνταρ το οποίο θα είναι πολύ πιο οικονομικό από τα άλλα ασύρματα πρωτόκολλα, όπως το bluetooth και το wifi, και θα βρίσκει εφαρμογή σε συσκευές όπου είναι απαραίτητη η μεγάλη διάρκεια της μπαταρίας μέσω της χαμηλής κατανάλωσης τους, η ασφαλής μετάδοση των δεδομένων και τέλος η όχι και τόσο γρήγορες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.

Οι συχνότητες λειτουργίας του είναι στα 868 MHz για την Ευρώπη, στα 915 MHz για τις ΗΠΑ και την Αυστραλία και τέλος στα 2.4 GHz λειτουργούν οι πιο πρόσφατες εκδόσεις οι οποίες διατίθενται σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Η εμβέλεια τους εξαρτάται καθαρά από την κεραία που περιλαμβάνουν και μπορεί να είναι από μερικά μέτρα έως και μέχρι το 1,5 χιλιόμετρο με μέγιστη ισχύ εκπομπής το 1mW.



Εικόνα 4: Ένα Xbee PRO με εμβέλεια που φτάνει το 1,5 χιλιόμετρο.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές εταιρίες που παράγουν ασύρματα module αυτής της τεχνολογίας τα οποία όμως διαφοροποιούνται κυρίως ως προς τον ενσωματωμένο μικροελεγκτή και τα χαρακτηριστικά του, τον τρόπο που θα γίνεται η επικοινωνία με τον μικροελεγκτή ή τον υπολογιστή που θα συνδεθούν καθώς και για το αν θα περιλαμβάνει κάποια άλλα περιφερειακά συστήματα ενσωματωμένα πάνω του.

Τέλος πρέπει να τονιστεί ότι το ZigBee είναι ένα πρωτόκολλο σε διαρκή εξέλιξη με σκοπό την αντιμετώπιση των προβλημάτων που υπάρχουν στην τρέχουσα έκδοση αλλά και στην περαιτέρω βελτίωση του.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Αισθητήρια

Η μετατροπή διαφόρων φυσικών μεγεθών του περιβάλλοντος σε ηλεκτρική τάση και αργότερα σε πληροφορία γίνεται μέσω κάποιων ηλεκτρονικών στοιχείων που ονομάζονται αισθητήρια. Υπάρχουν διάφορα είδη αισθητήρων, περίπου όσες και οι παράμετροι που θέλουμε και μπορούμε να σκεφτούμε να μετρήσουμε σε ένα χώρο.

Οι αισθητήρες μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στους αναλογικούς και στους ψηφιακούς αισθητήρες. Η μεγάλη τους διαφορά είναι στον τρόπο λειτουργίας καθώς και στον τρόπο που εμείς λαμβάνουμε την τιμή του μεγέθους που μετράμε. Στους αναλογικούς αισθητήρες ανάλογα με την τιμή του μεγέθους λαμβάνουμε κάποια τάση (συνήθως της τάξης των mV ή και V) η οποία μέσω κάποιων μαθηματικών εξισώσεων γίνεται αντιστοίχιση σε κάποια τιμή του φυσικού μεγέθους. Αντίθετα οι ψηφιακοί αισθητήρες επιστρέφουν το αποτέλεσμα του φυσικού μεγέθους με την μορφή πακέτου πληροφοριών ή μέσω μιας συγχρονισμένης ψηφιακής γραμμής μεταξύ του αισθητήρα και του μικροελεγκτή.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά είδη αισθητήρων, από τα οποία τα περισσότερα χρησιμοποιούνται στην τρέχουσα εφαρμογή.

2.1 Αισθητήρες Θερμοκρασίας

Αισθητήρες θερμοκρασίας ονομάζονται οι αισθητήρες αυτοί που έχουν την δυνατότητα να μας ενημερώνουν για την τρέχουσα θερμοκρασία ενός χώρου. Υπάρχουν δύο κατηγορίες, οι αναλογικοί και οι ψηφιακοί αισθητήρες.

Οι αναλογικοί αισθητήρες μας επιστρέφουν μία τάση, πχ 700 millivolt και αυτό μεταφράζεται σε 25 βαθμούς Κελσίου μέσω ενός μαθηματικού τύπου που αναφέρεται στο φύλλο δεδομένων του αισθητήρα. Επίσης αρκετές φορές υπάρχει και ένα κατώτατο όριο τάσης έτσι ώστε να μπορούν να υποστηριχθούν και θερμοκρασίες κάτω από το 0. Συνήθως έχουν μικρότερη ακρίβεια στο μετρούμενο μέγεθος αλλά έχουν μεγαλύτερη ανοχή και αντοχή σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας και τέλος η συντριπτική πλειοψηφία τους δεν χρειάζεται καμία ρύθμιση (βαθμονόμηση).

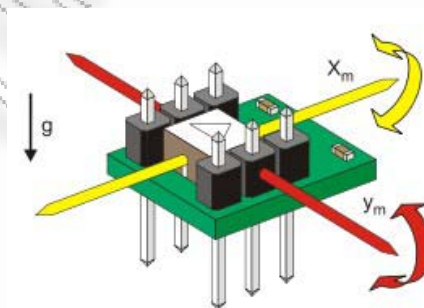
Οι ψηφιακοί αισθητήρες θερμοκρασίας μπορούν να μεταδίδουν μέσω μίας ψηφιακής γραμμής στον μικροελεγκτή την θερμοκρασία σε διάφορες μορφές, είτε σε βαθμούς Κελσίου είτε Κέλβιν είτε Φαρενάιτ.

Μερικοί ψηφιακοί αισθητήρες δεν περιορίζονται μόνο στην μετάδοση της θερμοκρασίας αλλά έχουν και πρόσθετες εισόδους/εξόδους που στις οποίες μπορούν να συνδέονται συσκευές οι οποίες μπορούν να ενεργοποιούνται και να απενεργοποιούνται από τον αισθητήρα ανάλογα με το πως τον έχουμε ρυθμίσει. Έτσι πχ μπορούμε να έχουμε ένα σύστημα ψύξης και θέρμανσης ενός χώρου που στηρίζεται αποκλειστικά σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, τον ψηφιακό αισθητήρα θερμοκρασίας.

2.2 Αισθητήρες Επιτάχυνσης

Οι αισθητήρες επιτάχυνσης έχουν ως σκοπό να μετρούν την επιτάχυνση της βαρύτητας αλλά και την κλίση. Μερικές εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι αισθητήρες αυτοί είναι σε συστήματα που παίζει μεγάλο ρόλο η κλίση και η γωνία που έχει μία συσκευή όπως συστήματα συναγερμού, αυτόνομοι κόμβοι κινούμενοι ή και αιωρούμενοι και αλλού.

Υπάρχουν αισθητήρες που μετρούν την επιτάχυνση σε έναν, δύο ή και ακόμα στους τρεις άξονες X, Y, Z. Συνήθως το μετρούμενο μέγεθος μεταφράζεται σε g και μία τυπική κλίμακα μέτρησης ανά άξονα είναι από $-3g$ μέχρι $3g$ ανάλογα πάντα τον αισθητήρα.

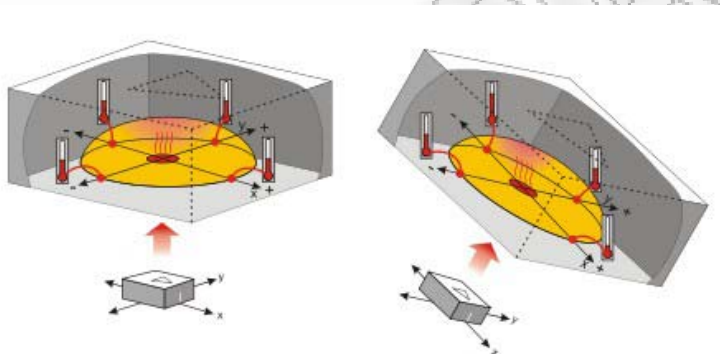


Εικόνα 5: Οι δύο άξονες στους οποίους γίνεται μέτρηση.

Κάθε αισθητήρας επιτάχυνσης περιέχει έναν σφραγισμένο μικροσκοπικό θάλαμο ο οποίος περιέχει μία φυσαλίδα από κάποιο αέριο και ακριβώς από κάτω από τον θάλαμο υπάρχει ένα θερμαντικό στοιχείο. Στα τέσσερα σημεία του οριζοντα υπάρχουν τέσσερις αισθητήρες θερμοκρασίας. Όταν ο αισθητήρας βρίσκεται σε μία τελείως επίπεδη επιφάνεια η ζεστή φυσαλίδα εισέρχεται στην κορυφή του θαλάμου, μακριά από τους αισθητήρες θερμοκρασίας, οι οποίοι όλοι επιστρέφουν την ίδια τιμή.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα δίπλα, όταν ο αισθητήρας στραφεί προς μία κατεύθυνση, πχ προς τα δεξιά, τότε η φυσαλίδα μετακινείται προς τα αριστερά και έτσι ο αισθητήρας θερμοκρασίας που βρίσκεται στην αριστερή μεριά του αισθητήρα θα επιστρέψει

μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σχέση με τους άλλους τρεις. Οι τιμές των τεσσάρων αισθητήρων μετατρέπονται σε παλμούς οι οποίοι αποκωδικοποιούνται από έναν μικροελεγκτή και



Εικόνα 6: Το εσωτερικό ενός αισθητήρα επιτάχυνσης.

εύκολα έχουμε την τιμή του ζητούμενου μεγέθους για τον συγκεκριμένο άξονα.

Με την ίδια λογική όταν ο αισθητήρας υποστηρίζει μέτρηση της επιτάχυνσης της βαρύτητας σε πάνω από έναν άξονα, υπάρχουν είτε πολλαπλοί θάλαμοι τοποθετημένοι σε διαφορετικές γωνίες, είτε παραπάνω αισθητήρες θερμοκρασίας τοποθετημένοι σε διαφορετικά σημεία.

2.3 Αισθητήρες Φωτός

Όπως φαίνεται και από το όνομα τους, η λειτουργία τους είναι να μετρούν πόσο φωτεινός είναι ένας χώρος. Δεν μετρούν την ποσότητα του φωτός αλλά λειτουργούν σαν κανονικές αντιστάσεις που η τιμή τους εξαρτάται από το πόσο φωτεινό είναι το περιβάλλον που βρίσκονται.



Εικόνα 7: Το ηλεκτρονικό σύμβολο των φωτοαντιστάσεων.

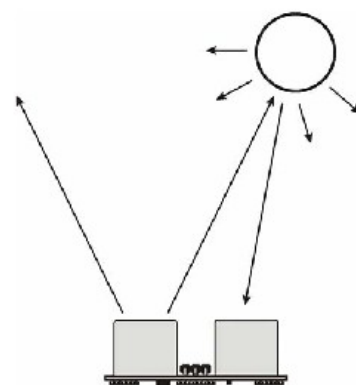
Έτσι όταν υπάρχει πολύ φως στον αισθητήρα, η αντίσταση στα άκρα του είναι μηδενική και συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα (ON), ενώ όταν δεν υπάρχει καθόλου φως, η αντίσταση είναι πολύ μεγάλη και συμπεριφέρεται ως ανοιχτό κύκλωμα (OFF). Φυσικά υπάρχουν και οι ενδιάμεσες καταστάσεις που ανάλογα με τι όριο θέτουμε εμείς το θεωρούμε στον μικροελεγκτή ως βραχυκύκλωμα ή ως ανοιχτό κύκλωμα.

Μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η πολύ χαμηλή τιμή τους σε σχέση με οποιαδήποτε άλλο αισθητήρα που μετράει την φωτεινότητα αλλά το κύριο μειονέκτημα τους είναι η αργή απόκριση που έχουν όταν εναλλάσσονται σε καταστάσεις με υπερβολικό και ελάχιστο φως.

2.4 Αισθητήρες Υπερήχων (Απόστασης)

Οι αισθητήρες υπερήχων χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που χρειάζεται να είναι γνωστή η απόσταση του αισθητήρα, και γενικότερα της εφαρμογής, από ένα πιθανό αντικείμενο.

Η αρχή λειτουργίας τους έχει ως εξής: από το μεγάφωνο γίνεται αποστολή ενός υπερήχου στο χώρο. Όλα τα σώματα έχουν την ιδιότητα να ανακλούν τους ήχους που προσπίπτουν πάνω τους. Έτσι αν υπάρχει κάποιο αντικείμενο η ηχώ του υπερήχου που στάλθηκε επιστρέφει προς τον αισθητήρα, η οποία γίνεται αισθητή μέσω ενός μικροφώνου. Γνωρίζοντας το πόσο χρόνο διαρκεί το ταξίδι του υπερήχου, από την μετάδοση του έως και την λήψη του από το μικρόφωνο, μπορούμε να υπολογίσουμε πόση απόσταση διέσχισε ο υπέρηχος και διαιρώντας με το δύο μας επιστρέφεται η απόσταση του αισθητήρα από το αντικείμενο.



Εικόνα 8: Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα υπερήχων.

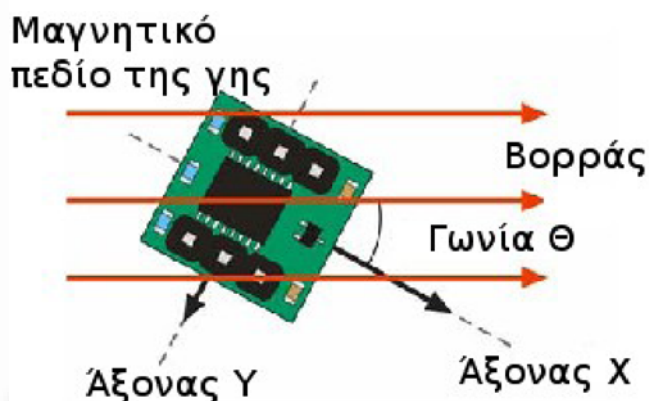
Έτσι όπως φαίνεται και στην εικόνα πάνω, ο αισθητήρας στέλνει έναν υπέρηχο από το μεγάφωνο. Ο ήχος αυτός μεταδίδεται στον χώρο και στα δεξιά υπάρχει ένα κυλινδρικό αντικείμενο. Αυτό με την σειρά του ανακλά τον υπέρηχο προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά και προς την κατεύθυνση του αισθητήρα που μέσω του ενσωματωμένου μικροφώνου τον αντιλαμβάνεται.

Οι υπέρηχοι δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτοί από τον άνθρωπο, λόγω τις υψηλής συχνότητας τους. Το ανθρώπινο αυτί έχει την δυνατότητα να αντιλαμβάνεται ήχους με συχνότητες από 20Hz έως και μέχρι 20KHz ενώ οι υπέρηχοι που αποστέλλει ο αισθητήρας είναι συχνότητας 40KHz.

2.5 Μαγνητικοί Αισθητήρες (Πυξίδες)

Οι μαγνητικοί αισθητήρες έχουν ως σκοπό να πληροφορούν για το που βρίσκεται το σημείο του βορρά, με λίγα λόγια έχουν την χρήση πυξίδας στις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται. Συνήθως μετρούν το μαγνητικό πεδίο σε μT και είναι ψηφιακοί στην πλειοψηφία τους.

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες υπολογίζουν το μαγνητικό πεδίο σε δύο άξονες, τον X και τον Y, και μετρούν το μαγνητικό πεδίο που είναι παράλληλο προς τον κάθε άξονα. Έτσι για να βρεθεί η γωνία του αισθητήρα με τον βορρά χρειάζεται να γνωρίζουμε τις δύο τιμές των μαγνητικών



Εικόνα 9: Αρχή λειτουργίας μαγνητικών αισθητήρων (πυξίδες)

πεδίων των αξόνων X και Y και εφαρμόζοντας τον τύπο $\Theta = \arctan(-Y/X)$ μας επιστρέφεται η ζητούμενη γωνία Θ .

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Κόμβοι

Κόμβοι ονομάζονται οι σταθμοί ή καλύτερα οι θέσεις στις οποίες υπάρχουν εγκατεστημένοι οι μικροελεγκτές μαζί με τα αισθητήρια και όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα που χρειάζονται για την καλή λειτουργία τους καθώς και για την επικοινωνία τους με κάποιον κεντρικό σταθμό ή/και με τους άλλους κόμβους.

Αυτοί οι κόμβοι μπορεί να είναι στατικοί, μόνιμα δηλαδή σε ένα μέρος, κινούμενοι, στο δισδιάστατο επίπεδο και αιωρούμενοι, οι οποίοι κινούνται ή καλύτερα αιωρούνται στον τρισδιάστατο χώρο.

3.1 Στατικοί

Στατικοί ονομάζονται οι κόμβοι εκείνοι που δεν έχουν καμία δυνατότητα κίνησης στον χώρο. Αυτό είναι ταυτόχρονα μειονέκτημα αλλά και πλεονέκτημα. Μειονέκτημα γιατί είναι περιορισμένος ο χώρος που μπορούν να καλύψουν με μετρήσεις, πχ λιγότερο από ένα τετραγωνικό μέτρο, αλλά πλεονέκτημα γιατί μπορούμε να έχουμε τροφοδοσία του κόμβου με ρεύμα με ένα απλό καλώδιο χωρίς να δημιουργείται η ανάγκη για εγκατάσταση μπαταριών.



Εικόνα 10: Παράδειγμα τοποθετημένου στον χώρο στατικού κόμβου.

Οι στατικοί κόμβοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε σημεία κλειδιά ενός χώρου που μας ενδιαφέρει να ξέρουμε διάφορα φυσικά μεγέθη για το συγκεκριμένο σημείο ενός χώρου και όχι για μία μεγάλη περιοχή. Αυτός ο χώρος μπορεί να είναι είτε εσωτερικός είτε εξωτερικός με μόνο πρόβλημα την σωστή μόνωση και προστασία του από την υγρασία και γενικά τα φυσικά φαινόμενα που μπορεί να αποβούν μοιραία για την απροβλημάτιστη λειτουργία του.

Ένα παράδειγμα της σύγχρονης εποχής είναι το σύστημα αισθητήρων που μετράει την πίεση των ελαστικών ενός οχήματος. Είναι αισθητήρες εγκατεστημένοι στην βαλβίδα του κάθε ελαστικού που αποστέλλουν δεδομένα σε ένα κεντρικό

στατικό κόμβο που συνήθως βρίσκεται μέσα στην καμπίνα του οχήματος και ειδοποιεί τον οδηγό αν υπάρχει κάποιο πρόβλημα με κάποιο από τα ελαστικά.

3.2 Κινούμενοι

Οι κινούμενοι κόμβοι σε αντίθεση με τους στατικούς κόμβους μπορούν και κινούνται σε δύο διαστάσεις στον χώρο αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον μέσω των διάφορων μεταβλητών που αναγνωρίζουν μέσω των αισθητήρων που είναι εξοπλισμένοι. Το μοναδικό τους μειονέκτημα είναι το ελάχιστα αυξημένο κόστος και βάρος σε σχέση με τους στατικούς κόμβους, και αυτό γιατί χρειάζεται να είναι εξοπλισμένοι με κάποια παραπάνω εξαρτήματα, όπως σερβοκινητήρες για την κίνηση του κόμβου, μπαταρίες για σχετική αυτονομία του καθώς και παραπάνω αισθητήρες που χρησιμεύουν για την ασφαλή πλοήγηση του στον χώρο.

Τα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους στατικούς κόμβους είναι πολλά. Πρώτα από όλα ένας κινούμενος κόμβος έχει την δυνατότητα να καλύψει και να επιτηρεί ένα πολύ μεγαλύτερο χώρο σε σχέση με έναν στατικό κόμβο για τον απλούστατο λόγο ότι μπορεί να κινηθεί μέσα στον χώρο και να λαμβάνει διάφορες τιμές για τους αισθητήρες από πολύ μεγαλύτερο χώρο και όχι από ένα συγκεκριμένο μοναδικό σημείο.



Εικόνα 11: Ένας κινούμενος κόμβος με μερικά αισθητήρια πάνω του.

Ένα άλλο απλό παράδειγμα είναι ότι οι κινούμενοι κόμβοι μπορούν να μεταδίδουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και αυτό γιατί αν τύχει ο στατικός κόμβος και είναι εκτεθειμένος στον ήλιο, οι τιμές της θερμοκρασίας θα είναι αυξημένες και δεν θα ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα, ενώ ο κινούμενος κόμβος με έναν απλό αισθητήρα φωτός θα μπορεί να κινηθεί στον χώρο με κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο και να σταθμεύσει σε μία θέση χωρίς να είναι εκτεθειμένος στον ήλιο και να μπορέσει να μεταδώσει τις πραγματικές τιμές θερμοκρασίας.

3.3 Αιωρούμενοι

Οι αιωρούμενοι κόμβοι είναι πιο δύσκολοι στην ανάπτυξη και λειτουργία τους όπως επίσης και το κόστος τους είναι αυξημένο. Επίσης λόγω της αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας λόγω της συνεχούς αιώρησης η αυτονομία του κόμβου είναι αισθητά μειωμένη σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους κόμβων.

Λόγω του ότι κινούνται σε τρεις διαστάσεις, ο κάθε κόμβος πρέπει να περιέχει δυνατά μοτέρ με έλικες ώστε να μπορούν να ανυψώνουν τον κόμβο χωρίς πρόβλημα στον χώρο. Επίσης πρέπει ο έλεγχος του κάθε μοτέρ να γίνεται ξεχωριστά και να υπάρχει ανατροφοδότηση με τις στροφές ανά λεπτό του καθενός έτσι ώστε να μειωθούν οι στροφές πχ στα δύο μπροστινά μοτέρ για να πάρει μία κλίση ο κόμβος και να κινηθεί μπροστά για όσο χρειάζεται.



Εικόνα 12: Αιωρούμενος κόμβος με τέσσερις έλικες.

Ακόμα είναι υποχρεωτικός ο εξοπλισμός του κόμβου με τρεις αισθητήρες επιτάχυνσης, έναν για κάθε άξονα, καθώς και με αισθητήρες που μετρούν την γωνιακή ταχύτητα ανά άξονα. Περιμετρικά χρειάζονται αισθητήρες απόστασης όπως και στο κάτω μέρος για να αποφεύγονται οι συγκρούσεις με άλλα ιπτάμενα αντικείμενα ή με το έδαφος.

Όλα τα παραπάνω αυξάνουν το κόστος εκθετικά σε σχέση με τους άλλους τύπους κόμβων καθώς και την πολυπλοκότητα του προγράμματος που θα ελέγχει τον κόμβο. Επίσης λόγω των πολλαπλών αισθητήρων ενδέχεται οι απλοί μικροελεγκτές να είναι αδύναμοι, να καθυστερούν να επεξεργάζονται όλα τα δεδομένα και να δίνουν τις αντίστοιχες εντολές για την κίνηση του κόμβου ή την ασύρματη μετάδοση των τιμών των αισθητήρων.

Από την άλλη μεριά τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου κόμβων είναι αρκετά. Έχουν μεγάλη ταχύτητα στο να μεταφέρονται από το σημείο Α στο σημείο Β, μπορούν να επιβλέπουν και να ελέγχουν πολύ μεγαλύτερο χώρο σε σχέση με τους στατικούς και κινούμενους κόμβους και τέλος να αποφεύγουν πολλά περισσότερα εμπόδια μόνο και μόνο επειδή κινούνται σε τρεις διαστάσεις.

3.4 Επιλογή για την εφαρμογή

Στην τρέχουσα εφαρμογή επιλέχθηκαν οι κινούμενοι κόμβοι λόγω του αποδεκτού κόστους σε σχέση με τους αιωρούμενους κόμβους και λόγω της κινητικότητας που προσφέρουν σε σχέση με τους στατικούς.

Πιο συγκεκριμένα γίνεται χρήση των Boe Bot της Parallax, όσον αφορά τον σκελετό του κόμβου, τους σερβομηχανισμούς και μερικούς αισθητήρες αλλά όχι τον μικροελεγκτή που παρέχεται μαζί με το Boe Bot. Το κόστος του κάθε κόμβου (σκελετός και δύο σερβομηχανισμοί) ανέρχεται στα 62€.

Ο συγκεκριμένος σκελετός είναι ιδανικός για την εφαρμογή λόγω του μικρού του μεγέθους του και επομένως και του μικρού βάρους του, που θα βοηθήσουν στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας αλλά και στην ευκολία κίνησης μέσα σε κλειστούς χώρους με πολλαπλά εμπόδια.

Ο σκελετός είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο ενώ οι ρόδες του είναι από πλαστικό μαζί και με ένα υποτυπώδες λάστιχο για να μην γλιστράει στις λείες επιφάνειες.



Εικόνα 13: Το kit της Parallax που θα χρησιμοποιηθεί ως κόμβος.

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Επιλογή Υλικού

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά ποια υλικά επιλέχθηκαν, ο λόγος που επιλέχθηκαν, το κόστος τους, καθώς και μερικά από τα βασικά τους χαρακτηριστικά μέσω των οποίων κρίθηκε ότι ήταν η καλύτερη επιλογή για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

4.1 Wireless

Τα ασύρματα modules είναι η καρδιά της εφαρμογής. Αυτά έχουν σκοπό να εκτελούν όλες τις διεργασίες για να επικοινωνούν μεταξύ τους οι κόμβοι ασύρματα. Βασικός παράγοντας στην επιλογή τους ήταν η ασφάλεια στην επικοινωνία, η ευκολία στην χρήση, η εμβέλεια τους, η απροβλημάτιστη λειτουργία τους και τέλος το κόστος τους.

4.1.1 Xbee Series One

Μετά από επισταμένη έρευνα έγινε επιλογή του Xbee Series One της MaxStream το οποίο είναι πλήρως συμβατό με το πρωτόκολλο 802.15.4, το γνωστό ως ZigBee. Η εμβέλεια του συγκεκριμένου μοντέλου περιορίζεται στα 100 μέτρα σε ανοιχτό χώρο ή σε 30 μέτρα σε κλειστό περιβάλλον με την ισχύ εκπομπής να είναι στο 1mW. Υπάρχει ακόμα και η σειρά PRO στην οποία υπάρχει κεραία τύπου καλωδίου και η ισχύς εκπομπής είναι πολύ μεγαλύτερη και φτάνει τα 50mW που η εμβέλεια τους σε ανοιχτό χώρο μπορεί να φτάσει τα 1600 μέτρα.



Εικόνα 14: Το ασύρματο module Xbee Series One από την MaxStream.

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων φτάνει τα 250Kbps και το module περιέχει 6 αναλογικές εισόδους και 8 ψηφιακές εισόδους. Αυτές χρησιμεύουν αν θέλουμε να συνδέσουμε διάφορα αισθητήρια πάνω σε ένα module και αυτό να

εκπέμπει διαδοχικά τις τιμές όλων. Υποστηρίζονται οι κλασικές εντολές AT έτσι ώστε να μπορούμε να παραμετροποιούμε το κάθε module γρήγορα, όπως κάνουμε με τα κλασικά modem του υπολογιστή. Ακόμα υπάρχει και η επιλογή αγοράς του module χωρίς καμία κεραία αλλά με υποδοχή για να συνδεθεί καλώδιο και κεραία της επιλογής μας, είτε κατευθυντική (sector) είτε ομοιοκατευθυντική (omni).

Τα Xbee μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους με διάφορους τρόπους. Η νεότερη σειρά, Xbee Series 2.5, υποστηρίζει μεταξύ των άλλων και συνδέσεις πλέγματος, mesh, οι οποίες έχουν πολλά προτερήματα και μπορούν να λειτουργούν και ως repeaters για να υπάρχει καλύτερη κάλυψη του χώρου, μεγαλύτερη εμβέλεια και όταν υπάρχει πρόβλημα σε ένα module τότε η δρομολόγηση των πακέτων γίνεται απευθείας μέσω εναλλακτικής διαδρομής αλλά αποφεύχθηκε η χρήση τους στην εφαρμογή διότι υπάρχουν μερικά προβλήματα και δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα, έως ότου να βγει κάποια αναβάθμιση στο firmware τους τουλάχιστον.

Η τιμή του κάθε module δεν ξεπερνάει τα 27€ πράγμα που τα καθιστά την χρυσή τομή μεταξύ κόστους και απόδοσης για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Η σειρά PRO κοστίζει περίπου 52€ και πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος τις κεραίας, πράγμα που ανεβάζει το κόστος σε υψηλά επίπεδα.

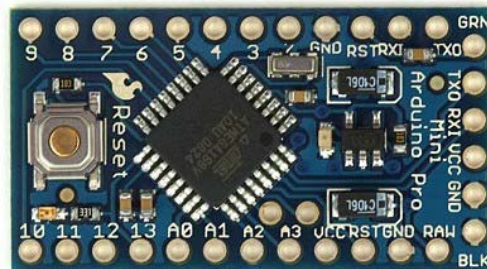
4.2 Μικροελεγκτής

Ο μικροελεγκτής είναι ο εγκέφαλος της εφαρμογής. Σε αυτόν είναι αποθηκευμένο το πρόγραμμα του κάθε κόμβου το οποίο εκτελείται συνεχώς. Είναι συνδεδεμένα επίσης όλα τα επιμέρους εξαρτήματα του κόμβου ώστε να δέχονται εντολές από τον μικροελεγκτή που αυτός παίρνει σύμφωνα με τις τιμές των συνδεδεμένων αισθητήρων που διαβάζει στις εισόδους του.

4.2.1 Arduino Platform

Η επιλογή του μικροελεγκτή της εφαρμογής ήταν μία ιδιαίτερα δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία. Έπρεπε να γίνει επιλογή του από μία μεγάλη ποικιλία που υπάρχει αυτή την περίοδο στην αγορά. Τα πλεονεκτήματα του θα αναλυθούν παρακάτω.

Έτσι επιλέχτηκε η πλακέτα ανάπτυξης Arduino Pro Mini η οποία περιλαμβάνει έναν 8bit επεξεργαστή, τον Atmega328 της AVR, μερικά χαρακτηριστικά του οποίου είναι 32KB Flash, 1KB EEPROM, 2KB RAM, είναι χρονισμένος στα 16MHz και υποστηρίζει interrupts διαφόρων τύπων.



Εικόνα 15: Το Arduino Pro Mini με τον Atmega328 ενσωματωμένο.

Ακόμα έχει 14 ποδαράκια με εισόδους/εξόδους, από τις οποίες 6 μπορούν να παράγουν PWM σήματα, 6 λειτουργούν ως αναλογικές εισοδοί/εξοδοί και μία σειριακή θύρα επικοινωνίας (RX, TX). Ακόμα υποστηρίζει τα πρωτόκολλα επικοινωνίας I²C³ και SPI⁴ τα οποία είναι ευρέως διαδεδομένα στην αγορά των ψηφιακών αισθητήρων.

Εκτός από τον μικροελεγκτή, το τυπωμένο κύκλωμα περιλαμβάνει και μερικούς σταθεροποιητές τάσης, έναν ταλαντωτή, ασφάλεια, πλήκτρο επανεκκίνησης, μερικά led και κάποια άλλα παθητικά στοιχεία που όλα αυτά μαζί τον κάνουν ιδιαίτερα σταθερό και δυνατό σε σχέση με οποιονδήποτε άλλον μικροελεγκτή απλά τοποθετημένο σε μία πλακέτα.

Το μικρό του μέγεθος τον καθιστά ιδιαίτερα εύχρηστο διότι δεν προσθέτει ιδιαίτερο βάρος στον κόμβο και έτσι τα επίπεδα κατανάλωσης κατά την κίνηση είναι και αυτά σε χαμηλά επίπεδα. Οι θερμοκρασίες στον μικροελεγκτή κατά την χρήση του βρίσκονται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα. Ο προγραμματισμός του συγκεκριμένου μικροελεγκτή γίνεται μέσω ενός απλού προγράμματος και υποστηρίζει την γλώσσα προγραμματισμού C.

Το κόστος του κάθε μικροελεγκτή μαζί με το μικροσκοπικό τυπωμένο κύκλωμα είναι περίπου 20€ και για τα χαρακτηριστικά που προσφέρει είναι από τους φτηνότερους και πιο ευρέως διαδεδομένους στην αγορά και ιδιαίτερα στον κόσμο και τους χρήστες του διαδικτύου.

³I²C = Inter-Integrated Circuit

⁴SPI = Serial Peripheral Interface Bus

4.3 Σέρβομηχανισμοί

Σερβομηχανισμοί ονομάζονται οι συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως από όσους ασχολούνται με το μοντελισμό και θέλουν να δώσουν κίνηση σε κάποια σημεία του μοντέλου. Είτε αυτό αφορά την κίνηση τους προς εμπρός ή πίσω είτε ρυθμίζοντας την κλίση στα φτερά (πχ στα αεροπλάνα) κτλ. Στο εσωτερικό τους περιλαμβάνουν ένα τυπικό κινητήρα DC μαζί με ένα κύκλωμα το οποίο αναγνωρίζει παλμούς και αντίστοιχα δίνει εντολές για κίνηση του κινητήρα προς συγκεκριμένη κατεύθυνση και απόσταση. Με λίγα λόγια αυτό το κύκλωμα μετατρέπει τους παλμούς σε μοίρες και αντίστοιχα κινεί τον κινητήρα για όσο χρόνο πρέπει έτσι ώστε να φτάσει στην επιθυμητή θέση.

Ένας τυπικός σερβομηχανισμός περιλαμβάνει τρία καλώδια, ένα για την τάση, έναν για το ουδέτερο και έναν για τον έλεγχο. Οι παλμοί στέλνονται στην γραμμή ελέγχου. Ο σερβομηχανισμός περιμένει έναν παλμό κάθε 20ms έτσι ώστε να μπορέσει να ανακτήσει πληροφορίες για την γωνία. Το πλάτος του παλμού αντιπροσωπεύει την γωνία που θα πρέπει να κινηθεί ο κινητήρας.

Η αρχική θέση, η οποία σε όλους τους σερβομηχανισμούς βρίσκεται στις 90 μοίρες, επιτυγχάνεται με ένα παλμό του οποίου το θετικό μέτωπο θα έχει διάρκεια 1,5ms. Εάν επιθυμούμε να κινηθεί στις 0 μοίρες, τότε χρειάζεται ένας παλμός με θετικό μέτωπο διάρκειας 1,25ms και αντίστοιχα ένας παλμός με θετικό μέτωπο διάρκειας 1,75ms θα μετακινήσει τον σερβομηχανισμό στις 180 μοίρες.

Κάθε σερβομηχανισμός έχει διαφορετικά όρια, οπότε μερικοί ενδέχεται να μπορούν να περιστρέφονται και πάνω από 180 μοίρες, οπότε και αντίστοιχα μεταφράζονται οι παλμοί που λαμβάνονται στο καλώδιο ελέγχου, αλλά ο παλμός πλάτους 1,5ms θεωρείται πάντα ως η αρχική θέση στις 90 μοίρες.

Ο κάθε κόμβος περιλαμβάνει τρεις σερβομηχανισμούς. Έναν για την κίνηση του αισθητήρα απόστασης, ο οποίος κινείται ανάμεσα σε τρεις προκαθορισμένες θέσεις και άλλους δύο σερβομηχανισμούς συνεχούς κίνησης, οι οποίοι χρησιμεύουν για την κίνηση του κόμβου προς όλες τις κατευθύνσεις.

4.3.1 Κλασικός σερβομηχανισμός

Αυτό ο σερβομηχανισμός θα είναι υπεύθυνος για την κίνηση του αισθητήρα υπερήχων ο οποίος ανιχνεύει τον χώρο για εμπόδια και επιστρέφει την απόσταση σε εκατοστά από το κοντινότερο εμπόδιο. Η κίνηση είναι αριστερά, μπροστά και δεξιά οπότε χρειάζεται ένας σερβομηχανισμός ο οποίος θα έχει δυνατότητα κίνησης από 0 έως 180 μοίρες.

Η καλύτερη δυνατή επιλογή ήταν το Standard Servo της Parallax το οποίο κατασκευάζεται από την Futaba με κόστος 10€. Λειτουργεί με τάση 4-6V και η κατανάλωση του χωρίς φορτίο είναι λίγο πιο κάτω από τα 200mA και 15mA όταν βρίσκεται σε ακινησία. Το βάρος του είναι 44 γραμμάρια που το καθιστά ιδανικό για την εφαρμογή μας, διότι περισσότερο βάρος στον κόμβο σημαίνει περισσότερη κατανάλωση ενέργειας για την κίνηση του που σημαίνει μικρότερη διάρκεια ζωής της μπαταρίας με γρηγορότερη αποφόρτιση.



Εικόνα 16: Κλασικός σερβομηχανισμός.

4.3.2 Σερβομηχανισμοί συνεχούς κίνησης

Οι σερβομηχανισμοί συνεχούς κίνησης βασίζονται στους κλασσικούς σερβομηχανισμούς με κάποιες μικρές αλλαγές. Πιο συγκεκριμένα δεν έχουν την δυνατότητα να κινούνται και να σταματούν σε συγκεκριμένη θέση αλλά μπορούν να κινούνται συνεχόμενα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση σε οποιαδήποτε ταχύτητα, είτε πολύ αργά είτε πολύ γρήγορα.

Έτσι έγινε επιλογή και χρήση των Continuous Rotation Servo της Parallax οι οποίοι κατασκευάζονται πάλι από την Futaba. Λειτουργούν με τάση 4-6V και η κατανάλωση τους χωρίς φορτίο είναι περίπου 200mA. Ο μέσος όρος στροφών ανά λεπτό



Εικόνα 17: Σερβομηχανισμός συνεχούς κίνησης.

με τροφοδοσία στα 5V σε πλήρη ταχύτητα είναι περίπου 50, οι οποίες κρίνονται

ικανοποιητικές για την εφαρμογή δεδομένου του χαμηλού του κόστους, 10€, σε σχέση με άλλους σερβομηχανισμούς της ίδιας εταιρίας.

Οι συγκεκριμένοι μηχανισμοί χρησιμοποιούνται αρκετά συχνά για παρόμοιες εφαρμογές, δηλαδή για κινούμενους στον χώρο κόμβους και έχουν αποδειχτεί ιδιαίτερα οικονομικοί και ευέλικτοι. Επίσης το γεγονός ότι η ροπή τους είναι σχετικά μεγάλη τους κάνει ιδιαίτερα δυνατούς και ικανούς και λόγω του ότι οι κόμβοι είναι ιδιαίτερα ελαφριοί η κατανάλωση ενέργειας είναι πολύ χαμηλότερη από την αναγραφόμενη από τον κατασκευαστή.

4.4 Αισθητήρες

Οι παρακάτω αισθητήρες επιλέχθηκαν για να εξοπλίσουν τον κάθε κόμβο. Ο αριθμός των αισθητήρων είναι ο μέγιστος δυνατός για τον συγκεκριμένο μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται από τον κάθε κόμβο.

4.4.1 Θερμοκρασία

Για την μέτρηση της θερμοκρασίας επιλέχτηκε ένας αναλογικός αισθητήρας. Βασικός λόγος ήταν η καλύτερη απόδοση του σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας, στις οποίες ο αντίστοιχος ψηφιακός ήταν πολύ ακριβός και έκανε την χρήση του ασύμφορη για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Έτσι επιλέχτηκε ο αισθητήρας TMP36 της Analog Devices. Η τάση λειτουργίας του αισθητήρα είναι από 2,7V έως 5,5V. Για κάθε βαθμό Κελσίου στην έξοδο του αισθητηρίου έχουμε αύξηση της τάσης 10mV. Η ακρίβεια του αισθητήρα είναι 2 βαθμοί Κελσίου και μπορεί να δουλέψει στην ζώνη από -40 βαθμούς Κελσίου μέχρι 125 βαθμούς Κελσίου. Η κατανάλωση του είναι αρκετά χαμηλή που τον κάνει ιδανικό για την εφαρμογή και η τιμή του είναι κάτω από 1.5€.



Εικόνα 18: Ο αναλογικός αισθητήρας θερμοκρασίας TMP36.

Επίσης το γεγονός ότι δεν χρειάζεται calibration πριν την χρήση του τον κάνει ιδιαίτερα εύχρηστο, διότι πολλές φορές είναι αρκετά δύσκολη η διαδικασία του calibration και χρονοβόρα, ειδικά όταν πρόκειται να υπάρχει μεγάλος αριθμός αισθητήρων τέτοιου είδους.

4.4.2 Επιτάχυνση

Για την μέτρηση της επιτάχυνσης ήταν απαραίτητο ο αισθητήρας να μπορεί να επιστρέψει τιμή για τους δύο άξονες, X και Y. Έτσι επιλέχτηκε ο αισθητήρας επιτάχυνσης Memsic 2125 ο οποίος έχει την δυνατότητα ενημερώνει τον μικροελεγκτή για πιθανή αλλαγή στην επιτάχυνση των δύο αξόνων για τιμές από -2g μέχρι και 2g.

Η τάση λειτουργίας του είναι 5V και η κατανάλωση του σε συνθήκες λειτουργίας είναι κάτω από 4mA. Επίσης περιλαμβάνει και έναν αναλογικό αισθητήρα θερμοκρασίας, που όμως αποφεύγεται η χρήση του λόγω μειωμένης ακρίβειας και ζώνης λειτουργίας.



Εικόνα 19: Ο αισθητήρας επιτάχυνσης της Memsic 2125.

Παρόλο που το ολοκληρωμένο κύκλωμα του επιταχυνσιόμετρου είναι SMT⁵ η εταιρία για ευκολότερη τοποθέτηση το διαθέτει έτοιμο κολλημένο σε τυπωμένο κύκλωμα μαζί με τους απαραίτητους παρασιτικούς πυκνωτές για μείωση των θορύβων και πιο ακριβείς μετρήσεις. Η τιμή του κάθε αισθητήρα είναι 23€.

4.4.3 Πυξίδα

Για την εύρεση του βορρά, είναι απαραίτητος ένας ψηφιακός αισθητήρας, γρήγορης απόκρισης ο οποίος θα μπορούσε να μετράει μαγνητικό πεδίο σε μT και με αυτές τις τιμές θα γινόταν ο προσανατολισμός του κόμβου στον χώρο.

Ιδανικός κρίθηκε ο αισθητήρας HM55B της Hitachi ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω σε ένα μικρό τυπωμένο κύκλωμα της Parallax μαζί με κάποια

⁵SMT Surface Mount Technology

άλλα παθητικά στοιχεία. Η τάση λειτουργίας του είναι στα 5V και καταναλώνει περίπου 5mA στην κατάσταση λειτουργίας. Η ταχύτητα απόκρισης του είναι πολύ μικρή και δεν ξεπερνάει τα 35ms περίπου για να μας επιστρέψει την τρέχουσα θέση του μαγνητικού βορρά.



Εικόνα 20: Η πυξίδα HM55B της Hitachi.

Το μοναδικό μειονέκτημα είναι ότι λόγω του μειωμένου μεγέθους του κόμβου ο αισθητήρας θα βρίσκεται κοντά στους σερβομηχανισμούς και οι μετρήσεις θα επηρεάζονται από τα επαγωγικά φορτία, έτσι θα πρέπει οι μετρήσεις να γίνονται μερικά ms αφού έχουν σταματήσει οι σερβομηχανισμοί να κινούνται και να βγαίνει ένας μέσος όρος από μερικές συνεχόμενες μετρήσεις για να αποκλειστεί το ενδεχόμενο λανθασμένης ένδειξης του βορρά. Η τιμή της πυξίδας είναι επίσης 23€.

4.4.4 Υπερήχων (Απόστασης)

Για την μέτρηση της απόστασης, για να έχει την δυνατότητα ο κόμβος όταν πλοηγείται στον χώρο αποφεύγοντας τα εμπόδια που υπάρχουν στην πορεία του, κρίθηκε απαραίτητη η ύπαρξη ενός αισθητήρα υπερήχων.

Επιλέχτηκε ο αισθητήρας υπερήχων της Parallax Ping)))™. Η τάση λειτουργίας του είναι στα 5V και η κατανάλωση του όταν βρίσκεται σε λειτουργία είναι 30mA. Η ακτίνα λειτουργίας του, μέσα στην οποία μπορεί να ανιληφθεί την ύπαρξη εμποδίων είναι από 2 εκατοστά μέχρι 3 μέτρα, πράγμα που τον κάνει ιδανικό όχι μόνο για την αποφυγή εμποδίων αλλά και για την χαρτογράφηση του χώρου γύρω από τον κόμβο.



Εικόνα 21: Ο αισθητήρας υπερήχων PING))) που μετράει απόσταση.

Το κόστος του μπορεί να φαίνεται αυξημένο, 23€, αλλά είναι από τους φτηνότερους αισθητήρες υπερήχων που μπορεί να έχει τόσο μεγάλη ακτίνα δράσης, από ελάχιστα εκατοστά έως μερικά μέτρα. Υπάρχουν στην αγορά αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν μέχρι πχ 10 εκατοστά αλλά έχουν ακρίβεια χιλιοστού και

αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν δεκάδες μέτρα με ελάχιστη ακρίβεια. Για την συγκεκριμένη εφαρμογή όμως ο αισθητήρας απόστασης της Parallax ήταν η ιδανική επιλογή.

4.5 Υπόλοιπα υλικά

Όπως είναι φυσικό χρησιμοποιήθηκαν αρκετά ακόμα υλικά για την εφαρμογή τα οποία ήταν απαραίτητα για την συνεχή και απροβλημάτιστη λειτουργία των κόμβων. Παρακάτω αναφέρονται και αναλύονται τα σημαντικότερα από αυτά.

4.5.1 Σταθεροποιητές τάσης



*Εικόνα 22:
Σταθεροποιητής
τάσης της
οικογένειας
78LXX.*

Είναι γραμμικοί σταθεροποιητές τάσης οι οποίοι περιλαμβάνουν ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία στην είσοδο τους δέχονται ρεύματα τάσης μέχρι 35V και στην έξοδο τους προσφέρουν σταθεροποιημένη τάση. Η χρήση τους είναι αναγκαία στους κόμβους, μιας και η τροφοδοσία μέσω των κλασικών μπαταριών AA είναι πάνω από τα 5V ($1.5V \cdot 4 = 6V$), που έχουν ως ενδειγμένη τιμή λειτουργίας τα διάφορα μέρη της εφαρμογής και έτσι έπρεπε να προστατευτούν από την υπερβολική τάση. Συγκεκριμένα έγινε χρήση του σταθεροποιητή 78L05 ο οποίος σταθεροποιεί την τάση στα 5V και είναι ικανό να προσφέρει μέχρι 1A έντασης.

Μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι δεν χρειάζεται κανένα άλλο ηλεκτρονικό στοιχείο για να λειτουργήσουν, εκτός από δύο απλούς πυκνωτές στην είσοδο και έξοδο τους αντίστοιχα. Έτσι αυτό τους καθιστά αυτόματα πολύ οικονομικούς και ιδιαίτερα αποδοτικούς για εφαρμογές τέτοιου είδους. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της σειράς είναι ότι περιλαμβάνουν προστασία από βραχυκυκλώματα, δηλαδή αν υπάρχει κάποιο στοιχείο στο κύκλωμα που καταναλώνει μεγάλα ποσά ρεύματος τότε ο σταθεροποιητής τάσης διακόπτει την παροχή ρεύματος προστατεύοντας όχι μόνο τον εαυτό του αλλά και το υπόλοιπο κύκλωμα από πιθανή καταστροφή λόγω της μοιραίας αύξησης της θερμοκρασίας σε μερικά στοιχεία.

Τέλος για την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας από τους σταθεροποιητές έγινε τοποθέτηση αλουμινένιων ψηκτρών στο πίσω μέρος τους με σκοπό την μακροχρόνια και απροβλημάτιστη λειτουργία τους.

4.5.2 Παρασιτικοί πυκνωτές

Είναι οι κλασσικοί ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές οι οποίοι αποτελούνται από δύο οπλισμούς με μονωτικό υλικό ανάμεσα τους οι οποίοι είναι φορτισμένοι με ηλεκτρικά φορτία ίσα και αντίθετα κατά μέτρο. Πιο συγκεκριμένα οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές αποτελούνται από μεταλλικές λωρίδες αλουμινίου, για την άνοδο, και χαλκού, για την κάθοδο οι οποίες είναι τυλιγμένες αρκετές φορές μεταξύ τους, με σκοπό την δημιουργία δύο μονωμένων ηλεκτρικών οπλισμών για την αποθήκευση ηλεκτρικού φορτίου.

Στην τρέχουσα εφαρμογή έχουν χρησιμοποιηθεί και τοποθετηθεί παρασιτικοί πυκνωτές κοντά στα στοιχεία αυτά που καταναλώνουν πολύ ρεύμα, όπως οι σερβομηχανισμοί, και δημιουργούν βυθίσεις και παράσιτα στην γραμμή τροφοδοσίας οι οποίες μπορούν να δημιουργήσουν υπολειτουργία κάποιων κυκλωμάτων καθώς και λανθασμένες μετρήσεις από τους αισθητήρες. Σε μερικούς αισθητήρες είναι απαραίτητη η χρήση τους ακόμα και αν δεν υπάρχουν στοιχεία που καταναλώνουν μεγάλα ποσά ρεύματος. Επίσης τοποθετούνται και κοντά στους σταθεροποιητές τάσης για τον ίδιο ακριβώς λόγο.



Εικόνα 23: Ένας τυπικός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής.

Η επιλογή της τιμής του κάθε πυκνωτή έγινε με βάση τα φύλλα δεδομένων του κάθε στοιχείου που τοποθετήθηκαν και έγινε κοινή επιλογή για όλους πυκνωτές της εφαρμογής να έχουν μέγιστη τάση λειτουργίας τα 25V. Παρόλο που όσο χαμηλότερη τάση λειτουργίας έχει ένας πυκνωτής τόσο μικρότερο μέγεθος έχει, η λανθασμένη επιλογή της τάσης λειτουργίας μπορεί να αποβεί μοιραία στις στιγμιαίες διακυμάνσεις του ρεύματος λόγω των επαγωγικών φορτίων που υπάρχουν στον κάθε κόμβο.

4.5.3 Λοιπά στοιχεία

Ακόμα έγινε χρήση και κάποιων κλασικών παθητικών στοιχείων, όπως αντιστάσεις, led κτλ. Κύριος σκοπός των φωτοдиодων led είναι η ενημέρωση του χρήστη της εφαρμογής για την καλή λειτουργία της ή και για ενδεχόμενα σφάλματα και προβλήματα που αντιμετωπίζει ο κόμβος, όπως αστοχία κάποιου αισθητήρα, ενημέρωση για σωστή ή όχι αποστολή και λήψη δεδομένων μεταξύ των κόμβων. Οι αντιστάσεις χρησίμευσαν στο να γίνεται περιορισμός της τάσης του ρεύματος για να προστατευτούν κάποια στοιχεία της εφαρμογής ή και για να δημιουργηθούν κάποιες τάσεις αναφοράς που είναι απαραίτητες για κάποιους αισθητήρες.

Η κατασκευή και σύνδεση των κυκλωμάτων έγινε πάνω σε ειδικές πλακέτες breadboard (ράστερ) έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερη και γρηγορότερη η συναρμολόγηση τους. Τυπωμένα κυκλώματα θα μπορούσαν να γίνουν έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί η χρήση των καλωδίων από διάφορα σημεία των κυκλωμάτων σε άλλα και να αποφεύγονται λάθη και παρεμβολές. Επίσης με την χρήση τυπωμένων κυκλωμάτων θα μπορούσε να γίνει μία τρομακτική μείωση του μεγέθους του κάθε κόμβου καθώς όλα τα στοιχεία του θα χωρούσαν σε έναν κύβο με διαστάσεις μικρότερες από έξι εκατοστά (με την χρήση τυπωμένων κυκλωμάτων δύο ή και περισσότερων στρωμάτων).

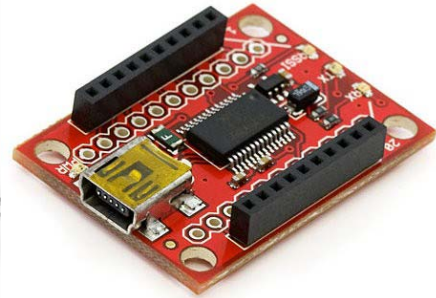
Τέλος έγινε και χρήση κάποιων μετατροπέων από σειριακή σύνδεση σε σύνδεση USB έτσι ώστε να είναι εύκολος ο προγραμματισμός των μικροελεγκτών από οποιονδήποτε υπολογιστή που διαθέτει μία τουλάχιστον θύρα USB. Αυτοί οι μετατροπείς είναι απλοί στην λειτουργία τους και δεν επηρεάζουν σε τίποτα την λειτουργία του κόμβου καθώς η χρήση τους γίνεται μόνο και μόνο όταν γίνεται ο προγραμματισμός και το debugging του κάθε κόμβου. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο FTDI Basic Breakout από την Sparkfun με διπλή τάση λειτουργίας στα 5V ή στα 3.3V και με κόστος 14€.



Εικόνα 24: Μετατροπέας από USB σε Serial.

4.6 Σύνδεση με υπολογιστή

Για να γίνεται ευκολότερα η ανεύρεση των λαθών στην εφαρμογή υπάρχει εγκατεστημένο και ένα ασύρματο module στον υπολογιστή το οποίο είναι συνδεδεμένο στην θύρα USB μέσω ενός Xbee Explorer USB. Το κόστος του είναι 24€, το οποίο φαίνεται λίγο αυξημένο αλλά είναι λογικό μόλις παρατηρήσουμε ότι περιλαμβάνει έναν μετατροπέα που μετατρέπει την σειριακή επικοινωνία σε USB έτσι ώστε να μπορεί ο υπολογιστής μέσω μιας εφαρμογής τερματικού να λαμβάνει όλα τα πακέτα που εκπέμπουν τα υπόλοιπα module στο χώρο.



Εικόνα 25: Τυπωμένο κύκλωμα σύνδεση του module με το PC.

Το κύκλωμα επίσης περιλαμβάνει και έναν σταθεροποιητή τάσης από τα 5V στα 3.3V. Τέλος υπάρχουν και μερικά led τα οποία μας δείχνουν αν το module έχει συνδεθεί με το δίκτυο των υπολοίπων module, αν λαμβάνει ή αποστέλλει πακέτα και τέλος αν βρίσκεται σε λειτουργία.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

Ανάπτυξη Λογισμικού

Σε αυτό το κεφάλαιο θα επεξηγηθούν αναλυτικά αρκετές από τις κύριες ρουτίνες του προγράμματος που εκτελούνται σε κάθε κόμβο. Παρατίθεται ψευδοκώδικας, ο οποίος είναι ευκολότερα κατανοητός από όλους, γνώστες και μη, καθώς και αρκετά διαγράμματα ροής για να γίνεται ευκολότερη η ουσιαστική κατανόηση της λειτουργίας της κάθε ρουτίνας που θα αναλυθεί. Τα διαγράμματα ροής είναι σχεδιασμένα με βάση τα διεθνή πρότυπα για την επεξήγηση προγραμμάτων και γενικότερα ρουτινών που είναι γραμμένες σε πολύπλοκες γλώσσες προγραμματισμού..

Τέλος υπάρχουν αναλυτικά επεξηγημένες οι ρυθμίσεις και οι επιλογές που έγιναν στην εγκατάσταση των ασύρματων module, οι οποίες ρυθμίζονται είτε μέσω εντολών AT από το τερματικό του υπολογιστή είτε μέσω ενός προγράμματος της εταιρίας κατασκευής των module.

Ο στόχος του λογισμικού είναι να γίνεται επιτυχής πλοήγηση των κόμβων στο χώρο με αποφυγή εμποδίων, να γίνεται ανάγνωση των τιμών των αισθητήρων που διαθέτουν καθώς και αποστολή και λήψη αυτών μεταξύ των κόμβων. Όταν γίνεται ανίχνευση τιμών πέραν των επιτρεπτών ορίων οι κόμβοι θα επιστρέφουν στο σημείο 0. Στο επόμενο κεφάλαιο παρατίθεται μία πειραματική εφαρμογή όπου γίνεται πλήρως αντιληπτή η λειτουργία όλου του λογισμικού.

5.1 Κόμβος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα κομμάτια κώδικα που βρίσκονται στην μνήμη του μικροελεγκτή και αναλαμβάνουν να φέρουν εις πέρας το κύριο έργο της όλης εφαρμογής.

Έγινε επιλογή των σημαντικότερων ρουτινών, οι οποίες κρίνεται ότι είναι απαραίτητες για την σωστή κατανόηση από τον αναγνώστη του πως λειτουργεί το πρόγραμμα και κατ' επέκταση όλος ο κόμβος. Έγινε αποφυγή των τεχνικών λεπτομερειών, όπως για παράδειγμα ανάλυση των ψηφιακών γραμμών και η λήψη

δεδομένων από εκεί καθότι ξεφεύγει από τα πλαίσια ενδιαφέροντος της τρέχουσας εργασίας.

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο η γλώσσα προγραμματισμού του μικροελεγκτή είναι κλασική C και το πρόγραμμα ανάπτυξης που χρησιμοποιήθηκε είναι το Arduino έκδοση 1.8 το οποίο στηρίζεται στο πρόγραμμα Processing.

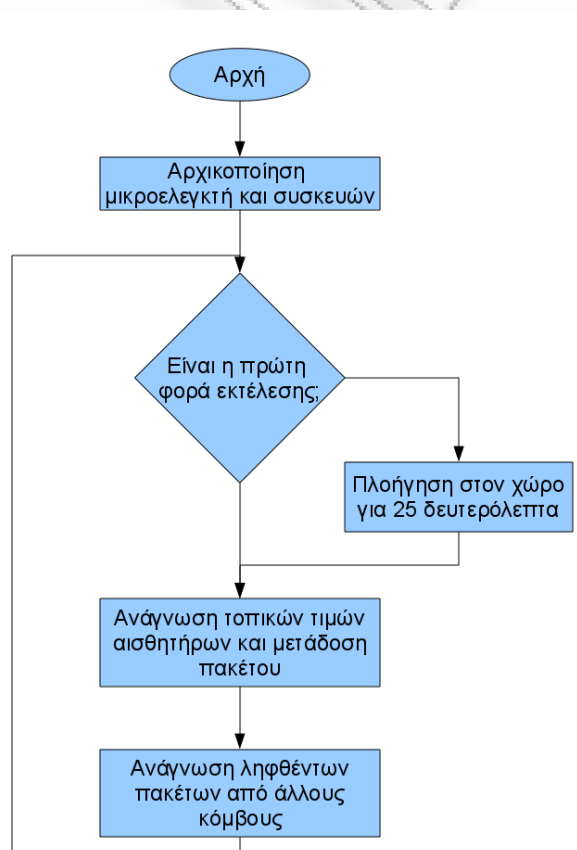
5.1.1 Κύριος κορμός προγράμματος

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του κύριου κορμού του προγράμματος. Οι περισσότερες ρουτίνες απλά θα αναφερθούν περιληπτικά και ονομαστικά.

Σκοπός είναι να γίνει κατανοητή όλη η λειτουργία του προγράμματος σε γενικές γραμμές και στα μετέπειτα κεφάλαια θα γίνει αναλυτικότερη παρουσίαση και ανάλυση της κάθε ρουτίνας με διαγράμματα ροής και ψευδοκώδικα.

Δεξιά υπάρχει ένα απλοποιημένο διάγραμμα ροής του κυρίως κορμού του προγράμματος.

Το πρώτο πράγμα που γίνεται κάθε φορά που τίθεται σε λειτουργία ο κάθε κόμβος είναι να γίνει αρχικοποίηση του μικροελεγκτή αλλά και των υπολοίπων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τα οποία είναι όλα συνδεδεμένα με τον μικροελεγκτή.



Εικόνα 26: Διάγραμμα ροής του κορμού του προγράμματος.

Το επόμενο βήμα είναι να γίνει ένας έλεγχος για το αν είναι η πρώτη φορά που εκτελείται το πρόγραμμα. Εάν είναι η πρώτη φορά τότε ο κόμβος κινείται στον χώρο για 25 δευτερόλεπτα, αποφεύγοντας ότι εμπόδια προκύψουν στην πορεία του και ταυτόχρονα γίνεται καταγραφή της κάθε κίνησης αναλυτικά σε έναν πίνακα. Σε αυτόν τον πίνακα αποθηκεύεται η κατεύθυνση κίνησης, η διάρκεια που οι σερβομηχανισμοί κινούνταν καθώς και η κατεύθυνση σε μοίρες με την βοήθεια της πυξίδας.

Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται μία και μόνο φορά για όσο είναι σε λειτουργία ο κόμβος. Ακόμα εκτελείται και σε περίπτωση που διαγνωσθεί κάποιο πρόβλημα σε κάποιον άλλον κόμβο, διότι μόλις συμβεί αυτό ο κόμβος επιστρέφει στην αρχική του θέση και μετά από το όλο συμβάν θα αρχίσει πάλι να πλοηγείται στον χώρο για άλλα 25 δευτερόλεπτα.

Μετά έχουμε ανάγνωση όλων των τιμών των αισθητήρων που βρίσκονται συνδεδεμένοι στον κόμβο. Αργότερα γίνεται η δημιουργία του πακέτου που θα αποσταλεί ασύρματα στους υπόλοιπους κόμβους και ταυτόχρονα αποφασίζεται εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα σε κάποια τιμή ενός φυσικού μεγέθους που μετράται τοπικά.

Το τελευταίο βήμα είναι να γίνει λήψη πακέτων που απεστάλησαν από τους άλλους κόμβους και να γίνει έλεγχος αν υπάρχει πρόβλημα εκεί. Αν υπάρχει πρόβλημα, όλοι οι κόμβοι μπαίνουν σε λειτουργία συναγερμού και επιστρέφουν στην αρχική τους θέση και παραμένουν εκεί για όσο χρόνο συνεχίζει να γίνεται λήψη πακέτων με τιμές εκτός του φυσιολογικού. Μόλις όλες οι τιμές επιστρέψουν σε φυσιολογικά επίπεδα τότε πάλι ξεκινάει η ίδια διαδικασία.

Αν δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στους υπόλοιπους κόμβους τότε εκτελείται ατέρμονα αυτός ο βρόγχος μέχρι να εμφανιστεί κάποιο πρόβλημα είτε μέχρι να εξαντληθούν οι μπαταρίες του κάθε κόμβου και απλά να τεθεί εκτός λειτουργίας μέχρι να γίνει αντικατάσταση τους.

```
κυρίως_πρόγραμμα () {  
    φορά_εκτέλεσης++;  
    εάν (φορά_εκτέλεσης<2) {  
        πλοήγηση_στον_χώρο (25000);  
    }  
    ανάγνωση_τοπικών_τιμών_αισθητήρων ();
```

```
ανάγνωση_ληφθέντων_πακέτων_από_κόμβους ();  
}
```

Παραπάνω υπάρχει ο κύριος κορμός του προγράμματος γραμμένος σε ψευδοκώδικα. Όπως φαίνεται υπάρχει ένας μετρητής ο οποίος έχει ως σκοπό την αποθήκευση της τιμής που αφορά την τρέχουσα φορά εκτέλεσης του κυρίως βρόγχου. Έτσι ξέροντας την τιμή αυτή επιλέγουμε να έχουμε εκτέλεση της ρουτίνας πλοήγηση στον χώρο μόνο την πρώτη φορά που ενεργοποιείτε ο κόμβος. Μετά απλά γίνεται κλήση των δύο κυρίων ρουτινών του προγράμματος όπως αναλύθηκε και προηγουμένως.

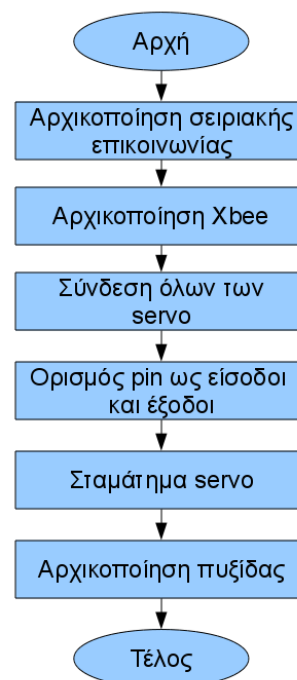
5.1.2 Αρχικοποίηση μικροελεγκτή

Το πρώτο πράγμα που εκτελείται σε κάθε μικροελεγκτή και κατ' επέκταση σε κάθε κόμβο μόλις τροφοδοτηθεί με ρεύμα είναι η εκτέλεση της ρουτίνας αρχικοποίησης.

Η χρησιμότητα αυτής της ρουτίνας είναι πολύ μεγάλη και είναι πολύ σημαντικό να γίνεται σωστή χρήση της. Πρέπει σε αυτή την ρουτίνα να κάνουμε δηλώσεις τιμών, μεταβλητών κτλ έτσι ώστε να είναι έτοιμες και αρχικοποιημένες όταν αργότερα θελήσουμε να τις χρησιμοποιήσουμε. Είναι απαραίτητο για παράδειγμα να ξέρει ο μικροελεγκτής το κάθε ποδαράκι του αν θα λειτουργήσει ως είσοδος ή ως έξοδος και αυτό πρέπει να γίνεται στην αρχικοποίηση έτσι ώστε να αποφεύγονται λάθη.

Δεξιά βλέπουμε το διάγραμμα ροής της ρουτίνας αρχικοποίησης που εκτελείται σε κάθε κόμβο κατά την τροφοδοσία του με ρεύμα.

Το πρώτο βήμα είναι να δηλώσουμε ότι θα χρησιμοποιήσουμε την σειριακή θύρα επικοινωνίας του μικροελεγκτή. Αυτό αυτόματα μεταφράζεται ότι θα



Εικόνα 27: Διάγραμμα ροής αρχικοποίησης του μικροελεγκτή.

υπάρχει ένα ποδαράκι που θα λειτουργεί ως γραμμή RX⁶ και άλλο ένα που θα λειτουργεί ως γραμμή TX⁷. Η σειριακή επικοινωνία είναι απαραίτητη για να μπορούμε μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή να παρακολουθούμε την εκτέλεση του προγράμματος αν γίνεται σωστά, η και μερικές φορές που μπορεί να είναι σωστή η εκτέλεση χωρίς λάθη, αλλά να έχουμε λανθασμένα δεδομένα στις τιμές των αισθητήρων κτλ.

Αμέσως μετά γίνεται η αρχικοποίηση του ασύρματου module Xbee. Το Xbee είναι συνδεδεμένο και επικοινωνεί με το μικροελεγκτή μέσω σειριακής επικοινωνίας. Αλλά επειδή την μία σειριακή θύρα του μικροελεγκτή την χρησιμοποιούμε για να μπορούμε να ελέγχουμε για λάθη τον κόμβο, δημιουργούμε μία εικονική σειριακή θύρα. Η μόνη διαφορά της είναι ότι δεν μπορεί να υποστηρίξει όσο μεγάλες ταχύτητες υποστηρίζει η σειριακή θύρα του μικροελεγκτή. Μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων της εικονικής θύρας χωρίς προβλήματα είναι τα 56Kbps, ταχύτητα που είναι υπέρ αρκετή για την χρήση που θέλουμε στην εφαρμογή. Έτσι αφού δημιουργηθεί η εικονική θύρα, γίνεται η αρχικοποίηση της και η ρύθμιση της για να λειτουργεί στα στα 9600bps και επίσης ορίζουμε και τα ποδαράκια στα οποία θα συνδεθεί το module. Έγινε επιλογή χαμηλής ταχύτητας μετάδοσης για να γίνεται αποφυγή λαθών και για το γεγονός ότι τα δεδομένα που αποστέλλονται (τα πακέτα με τις τιμές των αισθητήρων) έχουν πολύ μικρό μέγεθος.

Επόμενο βήμα είναι να δηλώσουμε και να “συνδέσουμε” στο πρόγραμμα του μικροελεγκτή τους σερβομηχανισμούς. Έτσι δηλώνουμε ποιος σερβομηχανισμός είναι συνδεδεμένος και σε ποιο ποδαράκι και για ποια χρήση. Εάν δεν γίνει η εικονική αυτή σύνδεση του κάθε σερβομηχανισμού τότε δεν μπορεί να λειτουργήσει ο καθένας. Αυτή η δήλωση που χρειάζεται είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, και λειτουργεί και αντίθετα, δηλαδή όταν δεν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε έναν σερβομηχανισμό μπορούμε απλά να τον “αποσυνδέσουμε” και να μην έχουμε κατανάλωση ενέργειας αλλά και ούτε κάποια τριξίματα λόγω κάποιων τυχαίων τιμών που φτάνουν στα ποδαράκια του μικροελεγκτή (θόρυβος).

Απαραίτητος είναι επίσης και ο ορισμός της χρήσης για όλα τα ποδαράκια του μικροελεγκτή. Έτσι γίνεται δήλωση που θα συνδεθεί ο κάθε αισθητήρας καθώς

⁶RX = γραμμή λήψης, (Receive)

⁷TX = γραμμή αποστολής (Transmit)

επίσης και ως τι θα λειτουργεί το κάθε ποδαράκι. Για παράδειγμα στον αισθητήρα θερμοκρασίας χρειάζεται ένα ποδαράκι μόνο το οποίο θα λειτουργεί ως αναλογική είσοδος, εν αντιθέσει με την φωτοδίοδο (led) του κόμβου, το οποίο θα λειτουργεί ως ψηφιακή έξοδος. Ο ορισμός για το πως θα χρησιμοποιείται το κάθε ποδαράκι του μικροελεγκτή μπορεί να γίνει και στο κυρίως πρόγραμμα αλλά ο κατασκευαστής προτείνει αυτό να γίνεται αν είναι δυνατόν στην ρουτίνα αρχικοποίησης για να αποφεύγονται λάθη και καθυστερήσεις αργότερα κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Στην τρέχουσα εφαρμογή, όπως γίνεται κατανοητό, είναι πολύ σημαντική η θέση του κόμβου και πιο συγκεκριμένα ο προσανατολισμός. Παρατηρήθηκε ότι μερικές φορές κατά την αρχικοποίηση του κόμβου οι δύο σερβομηχανισμοί, που είναι υπεύθυνοι για την κίνηση του κόμβου, έκαναν κάποιες σπασμωδικές κινήσεις για μερικά κλάσματα του δευτερολέπτου, ικανές όμως να αποπροσανατολίσουν τον κόμβο. Έτσι για να αποφεύγεται αυτό το πρόβλημα κάνουμε προσωρινή απενεργοποίηση των σερβομηχανισμών για να αποφύγουμε αυτή την κίνηση η οποία μπορεί να αποβεί μοιραία για την σωστή κίνηση του κόμβου ως προς τον χώρο.

Τέλος γίνεται και αρχικοποίηση για δύο από τους αισθητήρες του συστήματος. Του επιταχυνσιόμετρου και της πυξίδας. Ο λόγος που πρέπει να γίνει αρχικοποίηση αυτών των δύο αισθητήρων είναι, διότι τα μεγέθη που μετρώνται είναι πολύ ευαίσθητα και πρέπει κατά την αρχικοποίηση, να γίνει μία βαθμονόμηση των τιμών τους έτσι ώστε αργότερα να λαμβάνουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. Η αρχικοποίηση των δύο αισθητήρων μπορεί να καθυστερήσει ένα δύο δευτερόλεπτα την όλη εκκίνηση του κόμβου αλλά κρίνεται απαραίτητη και αναπόφευκτη.

```
αρχικοποίηση() {  
    σειριακή_επικοινωνία.έναρξη(9600);  
    αρχικοποίηση_XBee();  
    σέρβο_δεξιά.σύνδεση(11);  
    σέρβο_αριστερό.σύνδεση(5);  
    σέρβο_απόστασης.σύνδεση(4);  
    ποδαράκι(13, ΕΞΟΔΟΣ);  
    Σταμάτημα_σέρβο();  
    αρχικοποίηση_πυξίδας();  
    αρχικοποίηση_επιταχυνσιόμετρου();  
}
```

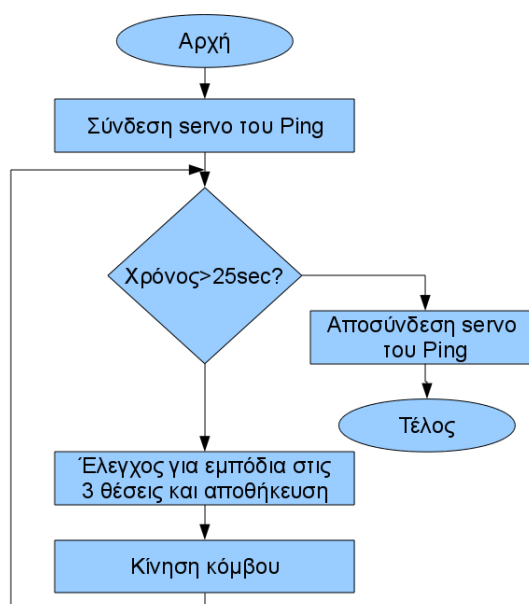
Παραπάνω βλέπουμε τον ψευδοκώδικα που εκτελείται στον μικροελεγκτή την πρώτη φορά μόνο. Οι τιμές στις παρενθέσεις στην σύνδεση των σερβομηχανισμών δηλώνουν σε πιο ποδαράκι του μικροελεγκτή είναι τοποθετημένοι καθώς επίσης και η τιμή 9600 στην έναρξη της σειριακής επικοινωνίας ορίζει την ταχύτητα μετάδοσης σε bps.

Η συγκεκριμένη τιμή μπορεί την σημερινή εποχή να φαντάζει και να ακούγεται υπερβολικά μικρή, αλλά και αργή, αλλά για την συγκεκριμένη εφαρμογή δεν υπάρχει λόγος να αυξηθεί, διότι ο όγκος των δεδομένων που θα μεταδίδεται και θα λαμβάνεται είναι αρκετά μικρός. Ο μικροελεγκτής πάντως υποστηρίζει ταχύτητες στη σειριακή επικοινωνία μέχρι 112kbps, οπότε μελλοντικά αν υπάρχουν πολύ περισσότερα δεδομένα για μετάδοση, δεν θα υπάρχει λόγος αντικατάστασης του με έναν ταχύτερο.

5.1.3 Αρχική κίνηση στον χώρο

Ο κόμβος μετά την εκκίνηση και την αρχικοποίηση του πρέπει να κινηθεί στον χώρο για μερικά δευτερόλεπτα. Επίσης αυτή η διαδικασία γίνεται και όταν μετά από μία κατάσταση συναγερμού ο κόμβος έχει επιστρέψει στην αρχική του θέση και πρέπει πάλι να ξεκινήσει να κινείται στον χώρο.

Δεξιά βλέπουμε το διάγραμμα ροής της ρουτίνας. Πρώτο πράγμα που γίνεται είναι να γίνει η “σύνδεση” του σερβομηχανισμού του αισθητήρα απόστασης Ping με το πρόγραμμα του μικροελεγκτή. Αφού γίνει επιτυχής σύνδεση τότε γίνεται έλεγχος για το πόση ώρα έχει περάσει από την εκτέλεση της ρουτίνας. Αυτό γίνεται γιατί θέλουμε να γίνει εκτέλεση για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και έχει επιλεγεί να είναι τα 25 δευτερόλεπτα. Ο χρόνος αυτός κρίθηκε



Εικόνα 28: Διάγραμμα ροής αρχικής πλοήγησης στον χώρο.

επαρκής για να μπορεί ο κόμβος να κινηθεί στον χώρο του εργαστηρίου και να αποφύγει μερικά εμπόδια. Για εφαρμογές σε μεγαλύτερους χώρους κτλ αυτός ο χρόνος μπορεί να μετατραπεί από μερικά δευτερόλεπτα έως και μέχρι μερικά λεπτά.

Εφόσον δεν έχει περάσει ο προκαθορισμένος χρόνος, το πρώτο βήμα είναι να γίνει έλεγχος για εμπόδια. Έτσι κινείται ο αισθητήρας απόστασης στις τρεις προεπιλεγμένες θέσεις, εμπρός, δεξιά και αριστερά, και αποθηκεύονται σε έναν πίνακα 3 κελιών οι τιμές που επιστρέφονται από τον αισθητήρα. Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι από 1-2 εκατοστά έως και μέχρι πάνω από 100 εκατοστά. Η διαδικασία ελέγχου για εμπόδια είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα διότι δεν μπορεί να γίνεται όσο κινείται ο κόμβος. Οπότε πρέπει μετά από κάθε κίνηση του κόμβου, να γίνεται στάση, να γίνεται περιμετρικός έλεγχος με τον αισθητήρα απόστασης, να υπάρχουν κάποιες απαραίτητες καθυστερήσεις για αποφυγή λανθασμένων μετρήσεων και μετά να κινηθεί ξανά ο κόμβος.

Έτσι έχοντας αποθηκεύσει αυτές τις τιμές, ο κόμβος μπορεί εύκολα και γρήγορα να αποφασίσει για το προς ποια κατεύθυνση είναι ασφαλές να κινηθεί πριν ξεκινήσει και πάλι η όλη διαδικασία εκ νέου. Αφού περάσει ο προκαθορισμένος χρόνος, αποσυνδέεται από τον μικροελεγκτή ο σερβομηχανισμός του αισθητήρα απόστασης και συνεχίζει η εκτέλεση του προγράμματος.

```
αρχική_κίνηση_στον_χώρο(διάρκεια) {  
    σύνδεση_σερβομηχανισμού_Ping();  
    χρόνος_έναρξης = τρέχων_χρόνος();  
    για_όσο( τρέχων_χρόνος() - χρόνος_έναρξης) < διάρκεια) {  
        έλεγχος_για_εμπόδια();  
        κίνηση_κόμβου();  
    }  
    αποσύνδεση_σερβομηχανισμού_Ping();  
}
```

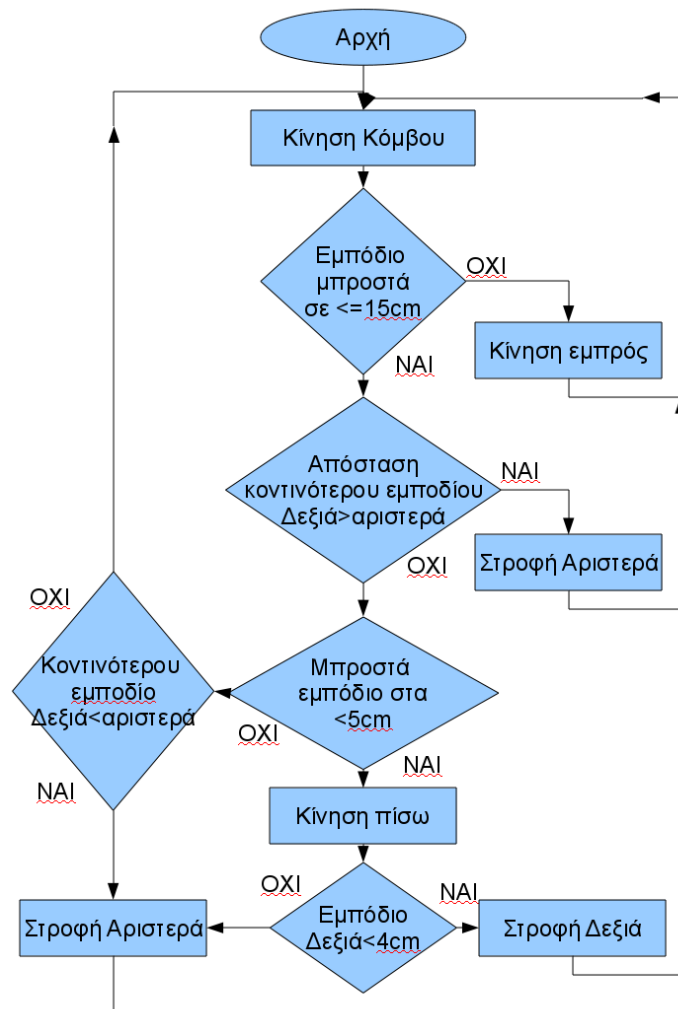
Παραπάνω υπάρχει σε ψευδοκώδικα η ρουτίνα με την οποία κινείται αρχικά στον χώρο ο κόμβος. Βλέπουμε ότι η διάρκεια εκτέλεσης της ρουτίνας περνάει ως όρισμα στην ρουτίνα καθώς επίσης και ότι έχουμε σύνδεση και αποσύνδεση του σερβομηχανισμού του αισθητήρα απόστασης Ping για τον λόγο που αναφέρθηκε και προηγουμένως, ότι δηλαδή υπάρχουν κάποιες μικρές κινήσεις του σερβομηχανισμού από ανεπιθύμητα σήματα και για να αποφύγουμε λανθασμένες θέσεις στον έλεγχο για εμπόδια, αλλά γίνεται “αποσύνδεση” του σερβομηχανισμού από τον μικροελεγκτή.

Ακόμα κάνουμε και χρήση μιας ρουτίνας που μας επιστρέφει τον ακριβή αριθμό των δευτερολέπτων που πέρασαν από την εκκίνηση του μικροελεγκτή και έτσι το έχουμε ως σημείο αναφοράς για περαιτέρω υπολογισμούς που γίνονται στην ρουτίνα για να γίνεται η εκτέλεση της για συγκεκριμένο χρόνο, ειδικότερα για 25 δευτερόλεπτα.

Τέλος η όλη κίνηση του κόμβου κατά αυτό το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καταγράφεται αναλυτικά σε έναν πίνακα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει αντίστροφη αναπαραγωγή της διαδρομής και να μπορέσει ο κόμβος να επιστρέψει στην αρχική του θέση γρήγορα και με ακρίβεια σε περίπτωση που κάποιος από τους άλλους κόμβους τεθεί σε κατάσταση ανάγκης.

5.1.4 Πλοήγηση στον χώρο

Η πλοήγηση στον χώρο θεωρητικά μπορεί να φαίνεται μία εύκολη υπόθεση αλλά στην πράξη είναι αρκετά πιο δύσκολη. Αυτό γιατί τα εμπόδια που συναντάει ο κάθε κόμβος δεν είναι στις θέσεις ακριβώς που θέλει και μερικές φορές κάποια εμπόδια είναι δύσκολο να εντοπισθούν και κατ' επέκταση να αποφευχθούν. Ακόμα είναι δύσκολη γιατί η δοκιμή στο περιβάλλον του εργαστηρίου είναι πολύ διαφορετική από το πραγματικό περιβάλλον όπου τα εμπόδια είναι



Εικόνα 29: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας πλοήγησης στον χώρο.

φυσικά αντικείμενα διαφόρων σχημάτων και μεγεθών και όχι κάποια συγκεκριμένα που υπάρχουν στον χώρο του εργαστηρίου.

Παραπάνω βλέπουμε το διάγραμμα ροής της ρουτίνας που είναι απαραίτητη για την πλοήγηση στον χώρο. Παραλείπεται το σημείο του ελέγχου για εμπόδια από τον αισθητήρα απόστασης διότι αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οπότε θεωρούμε ότι κατά την έναρξη κάθε φορά της ρουτίνας, και πιο συγκεκριμένα κάθε φορά που γίνεται έλεγχος για αποστάσεις από εμπόδια, ότι ο αισθητήρας απόστασης έχει χρησιμοποιηθεί και έχει αποθηκεύσει τα δεδομένα με τις αποστάσεις σε έναν πίνακα έτσι ώστε να μπορεί να λειτουργήσει σωστά αυτή η ρουτίνα.

Πρώτο πράγμα που ελέγχεται είναι εάν υπάρχει κάποιο εμπόδιο εμπρός σε απόσταση λιγότερη από 15 εκατοστά. Αυτή η απόσταση που ίσως φαίνεται μεγάλη δεδομένου του μεγέθους του κόμβου, αλλά αν πχ ο κόμβος κινηθεί μπροστά αυτή η απόσταση θα μειωθεί στο μισό και λιγότερο, τότε ο κόμβος αν θελήσει να στρίψει υπάρχει περίπτωση να συγκρουστεί πλάγια με το πιθανό εμπόδιο. Έτσι αν η απόσταση του κοντινότερου εμποδίου είναι μεγαλύτερη από 15 εκατοστά ο κόμβος κινείται προς τα εμπρός.

Αμέσως μετά, αφού υπάρχει εμπόδιο μπροστά από τον κόμβο σε πολύ κοντινή απόσταση, γίνεται έλεγχος δεξιά⁸ και αριστερά του κόμβου για το πόσο κοντά υπάρχουν εμπόδια. Αν υπάρχει πιθανό εμπόδιο στα αριστερά που είναι σε κοντινότερη απόσταση από πιθανό εμπόδιο δεξιά, τότε ο κόμβος θα επιστραφεί γύρω από τον άξονα του κατά αριστερά⁹. Έτσι έχει αποφύγει το εμπόδιο που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση μπροστά του αλλά και το εμπόδιο που βρίσκεται στα αριστερά του.

Εάν τώρα το εμπόδιο στα δεξιά είναι σε κοντινότερη απόσταση από πιθανό εμπόδιο στα αριστερά τότε ο κόμβος ελέγχει εάν έχει 5 εκατοστά χώρο μπροστά του έτσι ώστε να μπορέσει να στρίψει χωρίς να συγκρουστεί πλάγια με το εμπόδιο. Αν δεν υπάρχει αυτή η ελάχιστη απόσταση τότε ο κόμβος κινείται προς τα πίσω. Τότε ο κόμβος ελέγχει την απόσταση στα δεξιά αν υπάρχει εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 4 εκατοστά. Αν υπάρχει εμπόδιο τότε ο κόμβος στρέφεται δεξιά, αν δεν υπάρχει

⁸ Ο προσανατολισμός για τα εμπόδια είναι κοιτώντας τον κόμβο από μπροστά.

⁹ Η περιστροφή του κόμβου (δεξιά, αριστερά) είναι κοιτώντας τον κόμβο από πάνω με το πίσω μέρος του να είναι στραμμένο προς τα εμάς.

εμπόδιο τότε στρέφεται προς τα αριστερά. Εάν όμως υπάρχει αυτός ο διαθέσιμος χώρος των 5 εκατοστών μπροστά του, τότε ο κόμβος κάνει στροφή προς τα αριστερά, έτσι έχει εμπόδιο μπροστά του και δεξιά του.

Έτσι φαινομενικά μπορεί να φαίνεται ότι ο κόμβος στην τελευταία περίπτωση κινείται προς την κατεύθυνση του εμποδίου, αλλά στην επόμενη φορά εκτέλεσης της ρουτίνας, ο κόμβος θα μετρήσει μέσω του αισθητήρα απόστασης όλες τις αποστάσεις των εμποδίων και θα κινηθεί κατάλληλα για να αποφύγει το εμπόδιο και να φύγει από την προβληματική περιοχή και να συνεχίσει την εξερεύνηση του χώρου. Μπορεί να είναι πολύπλοκο στην αρχή να γίνει η κατανόηση του μοτίβου που ακολουθείται για να γίνει η αποφυγή των εμποδίων αλλά ο κόμβος με τις πολλές επαναλήψεις του βρόγχου καταφέρνει πάντα να βρει την διέξοδο από τα εμπόδια.

Παρακάτω υπάρχει ο ψευδοκώδικας της ρουτίνας πλοήγησης του κόμβου. Υπάρχει εκτενείς αναφορά ενός μονοδιάστατου πίνακα τριών κελιών με το όνομα κόσμος[], ο οποίος αντιπροσωπεύει τις αποστάσεις από το κοντινότερο εμπόδιο για τις τρεις μεριές που ελέγχει ο κόμβος, μπροστά, αριστερά και δεξιά.

```
πλοήγηση_στον_χώρο() {
    καθυστέρηση=500;
    εάν (κόσμος[2]<=15) {
        εάν (world[1]>κόσμος[3]) {
            στροφή_δεξιά(καθυστέρηση,0);
        } αλλιώς_εάν((κόσμος[1]<=8 ή κόσμος[3]<=8) και κόσμος[1]<=5 ) {
            κίνηση_πίσω(καθυστέρηση);
            εάν (κόσμος[1]<=4) {
                στροφή_δεξιά(καθυστέρηση);
            } αλλιώς {
                στροφή_αριστερά(καθυστέρηση);
            }
        } αλλιώς_εάν (κόσμος[1]<=κόσμος[3]) {
            στροφή_αριστερά(καθυστέρηση);
        } αλλιώς {
            καθυστέρηση(1);
        }
    } αλλιώς {
        κίνηση_εμπρός(καθυστέρηση);
    }
}
```

Η μεταβλητή “καθυστέρηση” που έχει την τιμή 500 και εισέρχεται ως όρισμα σε όλες τις εντολές κίνησης του κόμβου έχει σαν σκοπό τον ορισμό της

διάρκειας για την οποία ο κόμβος θα εκτελεί την συγκεκριμένη κίνηση και αντιπροσωπεύει ms.

Έτσι για παράδειγμα με την εντολή “κίνηση_πίσω(καθυστέρηση)” ο κόμβος θα κινηθεί προς τα πίσω για 500ms. Αντίστοιχα με την εντολή “στροφή_αριστερά(καθυστέρηση)” ο κόμβος θα περιστραφεί αριστερά γύρω από τον άξονα του και θα περιστρέφεται για 500ms. Έγινε επιλογή μικρού βήματος γιατί είναι προτιμότερο να γίνονται πολλές αλλά ακριβείς κινήσεις παρά λίγες και με λιγότερη ακρίβεια.

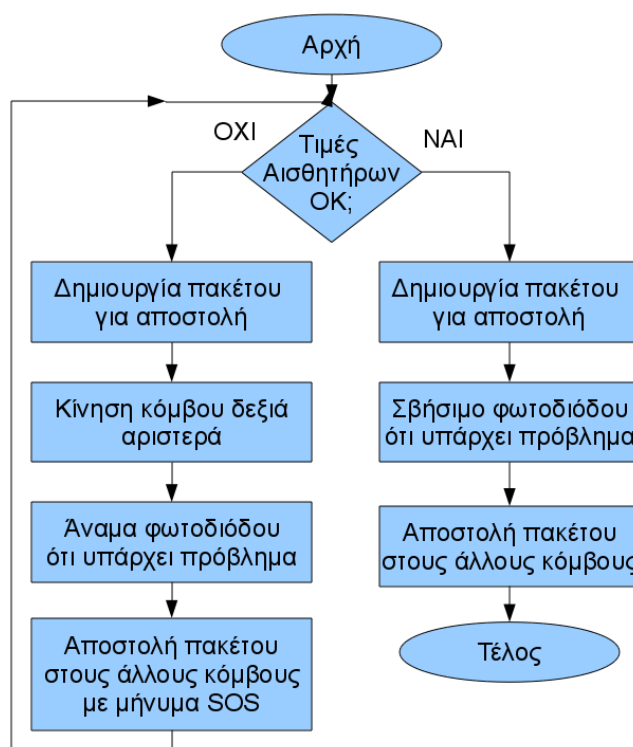
5.1.5 Ανάγνωση τοπικών αισθητήρων και αποστολή πακέτου

Αφού ο κόμβος πλοηγηθεί στο χώρο και σταθμεύσει σε μία θέση, τότε το επόμενο βήμα είναι να ελέγξει τους αισθητήρες και να αξιολογήσει εάν υπάρχει πρόβλημα, πως θα το αντιμετωπίσει αλλά και ότι πρέπει να ειδοποιηθούν οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου. Αυτό θα γίνει με την δημιουργία ενός πακέτου δεδομένων το οποίο θα αποσταλεί μέσω τον ασύρματων module Xbee.

Δεξιά βλέπουμε το απλοποιημένο διάγραμμα ροής της ρουτίνας.

Πρώτο βήμα στην εκτέλεση της ρουτίνας είναι η λήψη όλων των τιμών των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι στον κόμβο.

Αυτό γίνεται με διαδοχικές διαδικασίες ανάγνωσης των αισθητήρων και αποθήκευσης των τιμών που λαμβάνονται σε τοπικές μεταβλητές. Μετά αυτόματα γίνεται σύγκριση



Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάγνωσης τοπικών αισθητήρων.

όλων αυτών των τιμών με κάποιες προκαθορισμένες τιμές ανά μέγεθος έτσι ώστε να αποφασιστεί αν υπάρχει πρόβλημα σε κάποιον αισθητήρα ή όχι.

Αν δεν υπάρχει πρόβλημα στις τιμές των αισθητήρων δημιουργείται ένα πακέτο στο οποίο περιέχονται οι τιμές των αισθητήρων το οποίο θα αναγνωσθεί από τους υπόλοιπους κόμβους και θα τους ενημερώνει ότι ο συγκεκριμένος κόμβος δεν έχει κανένα απολύτως πρόβλημα. Μετά δίνεται εντολή να σβήσει η φωτοδίοδος που όταν είναι αναμμένη σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα, είτε στον τοπικό κόμβο είτε σε κάποιον άλλον απομακρυσμένο και αμέσως μετά έχουμε μετάδοση αυτού του πακέτου προς τους υπόλοιπους κόμβους του δικτύου.

Αν υπάρχει όμως κάποια τιμή κάποιου αισθητήρα η οποία ξεφεύγει από τις προκαθορισμένες τιμές τότε ο κόμβος μπαίνει σε λειτουργία ανάγκης. Ταυτόχρονα δημιουργείται ένα πακέτο το οποίο περιλαμβάνει όλες τις τιμές των αισθητήρων καθώς και την λέξη “SOS” η οποία σημαίνει αυτόματα ότι κάποιο πρόβλημα υπάρχει στον συγκεκριμένο κόμβο και έτσι μπαίνουν σε λειτουργία συναγερμού και οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου.

Μετέπειτα έχουμε διαδοχικές κινήσεις και περιστροφές του κόμβου δεξιά και αριστερά, αλλά χωρίς να μετακινείται από το σημείο του προβλήματος, με σκοπό να προειδοποιεί ότι στο συγκεκριμένο σημείο υπάρχει κάποιο πρόβλημα σε κάποιον αισθητήρα. Ταυτόχρονα τίθεται σε λειτουργία η φωτοδίοδος κινδύνου και γίνεται η αποστολή του πακέτου προς το υπόλοιπο δίκτυο.

Για όσο χρόνο γίνεται ανάγνωση προβληματικών τιμών από τους αισθητήρες εκτελείται η συγκεκριμένη λειτουργία έτσι ώστε να γίνεται συνεχής αποστολή πακέτων ανάγκης για να μειωθούν οι πιθανότητες ότι κάποιο πακέτο χάθηκε ή και κάποιος κόμβος δεν έλαβε τα επίμαχα πακέτα για να ενημερωθεί και να ξεκινήσει την διαδικασία αντίστροφης πλοήγησης στο αρχικό σημείο.

Μόλις οι τιμές επανέλθουν σε φυσιολογικά επίπεδα εκτελείται το άλλο σκέλος της ρουτίνας που αναλύθηκε προηγουμένως, σβήνει η φωτοδίοδος και μεταδίδονται εκ νέου τα πακέτα με τα νέα δεδομένα που ενημερώνουν ξανά τους άλλους κόμβους του δικτύου ότι έχει σταματήσει να υπάρχει κάποιο πρόβλημα στον κόμβο.

```
ανάγνωση_τοπικών_αισθητήρων() {  
    για_όσο(!αισθητήρες_OK()) {  
        πακέτο_για_αποστολή = δημιουργία_πακέτου();  
        πακέτο_για_αποστολή.προσθήκη("SOS");  
        Xbee.αποστολή(πακέτο_για_αποστολή);  
        φωτοδίοδος_κινδύνου(13,1);  
        περιστροφή_αριστερά(400);  
        περιστροφή_δεξιά(400);  
    }  
    εάν(αισθητήρες_OK()) {  
        πακέτο_για_αποστολή = δημιουργία_πακέτου();  
        φωτοδίοδος_κινδύνου(13,0);  
        πακέτο_για_αποστολή.προσθήκη("OK");  
        Xbee.αποστολή(πακέτο_για_αποστολή);  
    }  
}
```

Παραπάνω παρατίθεται ο ψευδοκώδικας της ρουτίνας. Όπως φαίνεται με την πρώτη ματιά, όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στην ρουτίνα που διαβάζει τους αισθητήρες, τότε εκτελείται συνεχώς το κομμάτι της ρουτίνας που αποστέλλει τα μηνύματα κινδύνου τα οποία εκτός από τις τιμές των αισθητήρων περιέχουν και την λέξη “SOS”, κινούν τον κόμβο γύρω από τον άξονα του και κρατούν αναμμένη την φωτοδίοδο που σημαίνει ότι υπάρχει πρόβλημα στους κόμβους.

Για λόγους ευκολίας, ταχύτερης εκτέλεσης του προγράμματος αλλά και οικονομίας στην μνήμη flash του μικροελεγκτή το πακέτο του κόμβου που αποστέλλεται είτε υπάρχει πρόβλημα είτε όχι είναι πανομοιότυπο απλά στο τέλος του προστίθεται η λέξη “OK” αν δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα ή η λέξη “SOS” όταν υπάρχει κάποιο πρόβλημα με κάποια τιμή από κάποιον αισθητήρα.

```
μέγιστη_γωνία=5;  
μέγιστη_θερμοκρασία=40.00;  
αισθητήρες_OK() {  
    εάν [ (απόλυτη_τιμή(γωνίαX())>μέγιστη_γωνία) ή  
          (απόλυτη_τιμή(γωνίαY())>μέγιστη_γωνία) ή  
          τρέχουσα_θερμοκρασία(>μέγιστη_θερμοκρασία) ] {  
        κατάσταση_αισθητήρων = 0;  
    } αλλιώς {  
        κατάσταση_αισθητήρων = 1;  
    }  
    επέστρεψε κατάσταση_αισθητήρων;  
}
```

Παραπάνω υπάρχει γραμμένη σε ψευδοκώδικα η ρουτίνα ελέγχου των τιμών των αισθητήρων. Όπως βλέπουμε στην αρχή της ρουτίνας υπάρχουν κάποιες

προκαθορισμένες τιμές οι οποίες όταν ξεπεραστούν αυτόματα σημαίνει συναγερμός στον κόμβο. Η ρουτίνα επιστρέφει την τιμή 1 εάν δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα με τους αισθητήρες ή επιστρέφει την τιμή 0 όταν κάποια από τις τιμές των αισθητήρων είναι πέρα των προκαθορισμένων ορίων.

Επίσης για να ελέγξουμε την κλίση του κόμβου με την βοήθεια του επιταχυνσιομέτρου χρησιμοποιούμε την απόλυτη τιμή της κλίσης διότι η κλίση μπορεί να είναι είτε θετική είτε αρνητική, και για να μην καθυστερεί περαιτέρω η εκτέλεση του ελέγχου των αισθητήρων. Ακόμα βλέπουμε ότι χρειάζεται μόνο ένα μέγεθος ενός αισθητήρα να ξεφύγει εκτός ορίων έτσι ώστε να το αναγνωρίσει η ρουτίνα και να επιστρέψει κατά την εκτέλεση της την τιμή 0, δηλαδή ότι κάπου υπάρχει πρόβλημα.

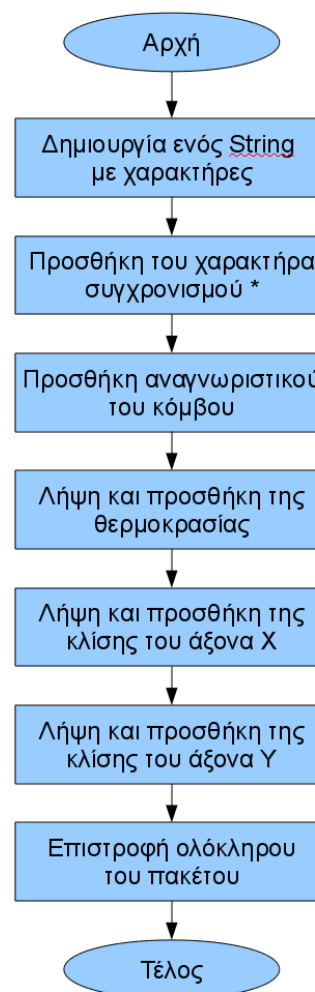
5.1.6 Δημιουργία πακέτου δεδομένων που αποστέλλεται

Η δημιουργία των πακέτων που αποστέλλονται είναι μια σχετικά απλή λειτουργία από τις πολλές που έχει ο κόμβος να εκτελέσει κατά την διάρκεια λειτουργίας του.

Το πακέτο με τα δεδομένα του κόμβου πρέπει να είναι μικρό, έτσι ώστε να έχουμε γρήγορη μετάδοση του χωρίς περιττές πληροφορίες. Επίσης όσο πιο μικρό είναι το πακέτο τόσο ελαχιστοποιούμε τις πιθανότητες για λανθασμένη ή μερική λήψη του από τους υπόλοιπους κόμβους του συστήματος.

Έτσι όπως φαίνεται και στο διάγραμμα ροής στα δεξιά το πρώτο βήμα όταν καλείτε η ρουτίνα δημιουργίας του πακέτου δεδομένων είναι να δημιουργηθεί μία αλφαριθμητική μεταβλητή τύπου String στην οποία θα αποθηκεύεται το πακέτο.

Ο πρώτος χαρακτήρας του πακέτου είναι ένας αστερίσκος ο οποίος βοηθάει στο να ξέρουμε



Εικόνα 31: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας δημιουργίας του πακέτου.

ποια είναι η αρχή του πακέτου όταν λαμβάνουμε τα δεδομένα. Μετά υπάρχει το αναγνωριστικό του κάθε κόμβου το οποίο είναι ένας απλός αριθμός. Αμέσως μετά ακολουθούν διαδοχικά τα δεδομένα από τους αισθητήρες θερμοκρασίας και επιτάχυνσης.

Έτσι το πακέτο είναι αποθηκευμένο στην μεταβλητή και επιστρέφεται έτοιμο για αποστολή, αφού στο τέλος του προστεθεί η λέξη "OK" ή η λέξη "SOS" ανάλογα με το αν οι τιμές είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια ή όχι.

Ένα τυπικό πακέτο που αποστέλλεται από τον κόμβο 1, ο οποίος δεν έχει κάποιο πρόβλημα είναι ως εξής:

```
*1;25;-1;-3;OK
```

Όπως είναι φανερό ο πρώτος χαρακτήρας είναι ο χαρακτήρας συγχρονισμού, μετά είναι η ταυτότητα του κόμβου, η τρέχουσα θερμοκρασία, οι κλίσεις στους δύο άξονες X και Y αντίστοιχα καθώς και το χαρακτηριστικό OK το οποίο δείχνει ότι όλες οι τιμές των αισθητήρων είναι σε φυσιολογικά επίπεδα.

```
*3;45;-1;-20;SOS
```

Εδώ βλέπουμε ένα πακέτο που έχει μεταδοθεί από τον κόμβο με το αναγνωριστικό 3, ο οποίος βρίσκεται σε κατάσταση συναγερμού, κρίνοντας από το χαρακτηριστικό "SOS" στο τέλος του πακέτου. Η τιμή της θερμοκρασίας όπως και η κλίση στον άξονα Y είναι πέρα από τα προκαθορισμένα όρια όποτε και για αυτόν τον λόγο ο κόμβος βρίσκεται στην κατάσταση συναγερμού.

Παρακάτω ακολουθεί ο ψευδοκώδικας την ρουτίνας,

```
δημιουργία_πακέτου() {  
    String πακέτο = String();  
    πακέτο = "*";  
    πακέτο.προσθήκη(αριθμός_κόμβου);  
    πακέτο.προσθήκη(";");  
    πακέτο.προσθήκη(τρέχουσα_θερμοκρασία());  
    πακέτο.προσθήκη(";");  
    πακέτο.προσθήκη(τρέχουσα_κλίσηX());  
    πακέτο.προσθήκη(";");  
    πακέτο.προσθήκη(τρέχουσα_κλίσηY());  
    επέστρεψε πακέτο;  
}
```

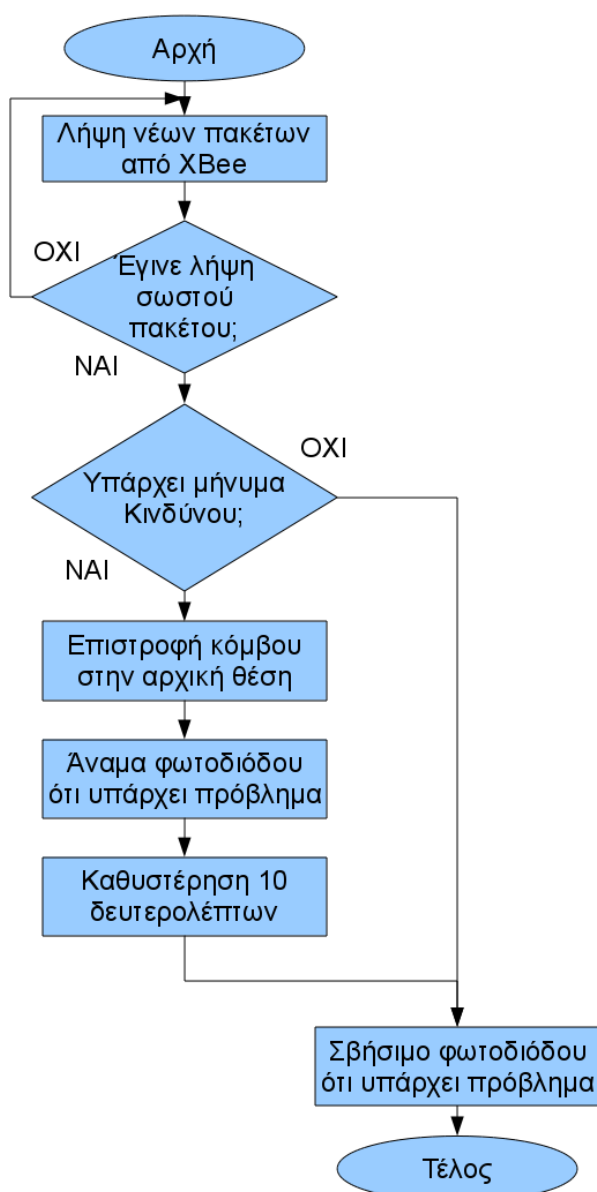
Η χρήση του semicolon, “;” για να διαχωρίζονται τα διαφορετικά δεδομένα στο πακέτο έγινε για να είναι ευκολότερη η χρήση των δεδομένων μετέπειτα από κάποιον υπολογιστή έτσι ώστε να μπορούν να εισαχθούν σε ένα λογιστικό πρόγραμμα, πχ Excel, και να βγουν χρήσιμα στατιστικά δεδομένα ως προς τις τιμές κάποιων μεγεθών για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

5.1.7 Ανάγνωση πακέτων από άλλους κόμβους

Πολύ σημαντική και κρίσιμη είναι η λειτουργία της ανάγνωσης και αξιολόγησης των ληφθέντων πακέτων που προήλθαν από τους άλλους κόμβους. Είναι κρίσιμο να γίνεται λήψη έγκυρων και ολοκληρωμένων πακέτων έτσι ώστε να αποφεύγονται λάθη και εσφαλμένες καταστάσεις συναγερμού από τον κόμβο που έλαβε και αξιολόγησε λάθος το κάθε μήνυμα.

Όπως φαίνεται και στο διπλανό διάγραμμα ροής το πρώτο πράγμα που γίνεται είναι να ληφθούν δεδομένα από τα ασύρματα module. Αφού γεμίσει ένας πίνακας με τα ληφθέντα δεδομένα τότε γίνεται έλεγχος για το αν το πακέτο είναι πλήρες και χωρίς κάποιο πρόβλημα.

Αν υπάρχει το παραμικρό πρόβλημα και το πακέτο δεν έχει



Εικόνα 32: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας λήψης και αξιολόγησης πακέτων.

φτάσει όλο ή οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα τότε διαγράφονται όλα τα δεδομένα που ελήφθησαν και γίνεται λήψη δεδομένων εκ νέου έως ότου έχουμε ένα σωστό πακέτο.

Μόλις αποδειχτεί ότι το πακέτο είναι έγκυρο γίνεται έλεγχος για το αν υπάρχει μήνυμα κινδύνου. Αν δεν υπάρχει τότε γίνεται σβήσιμο της φωτοδιόδου που δείχνει ότι υπάρχει πρόβλημα σε κάποιον κόμβο και τερματίζεται η ρουτίνα. Αν όμως το πακέτο περιέχει μήνυμα κινδύνου τότε ο κόμβος μπαίνει σε κατάσταση συναγερμού. Δίδεται αμέσως εντολή από τον μικροελεγκτή ότι πρέπει ο κόμβος να γυρίσει στην αρχική του θέση μέσω της διαδικασίας της αντίστροφης πλοήγησης. Επίσης ανάβει η φωτοδιόδος η οποία σημαίνει ότι κάποιος κόμβος βρίσκεται σε κατάσταση συναγερμού και μετά από την επιστροφή του κόμβου στο αρχικό σημείο ο κόμβος αδρανοποιείται για 10 δευτερόλεπτα.

Παρακάτω υπάρχει ο κώδικας της ρουτίνας ανάγνωσης πακέτων γραμμένος σε ψευδοκώδικα.

```
ανάγνωση_πακέτου_κόμβου () {
    ληφθέν_πακέτο[18];
    ληφθέν_δεδομένα = '\0';
    χρόνος_έναρξης = uptime();
    χρόνος_timeout = 1000;
    Xbee.άδειασμα_ληφθέντων_πακέτων();
    για_όσο ((uptime() - χρόνος_έναρξης < χρόνος_timeout) και
            ληφθέν_δεδομένα != '*') {
        ληφθέν_δεδομένα = Xbee.ανάγνωση();
    }
    Xbee.άδειασμα_ληφθέντων_πακέτων();
    εάν (ληφθέν_δεδομένα == '*') {
        χρόνος_έναρξης = uptime();
        για_όσο ((millis() - χρόνος_έναρξης < χρόνος_timeout)
            και Xbee.διαθέσιμη() < 17) {
            καθυστέρηση(10);
        }
        για (i=0; i < 17; i++) {
            ληφθέν_πακέτο[i] = Xbee.ανάγνωση();
            καθυστέρηση(10);
        }
    }
    εάν (ληφθέν_δεδομένα[0]!='\0') {
        πακέτο = ληφθέν_πακέτο;
        sos = πακέτο.περιέχει("SOS");
    } αλλιώς {
        sos = 0;
    }
    επέστρεψε sos;
}
```

Όπως φαίνεται από το παραπάνω πρόγραμμα, στην συγκεκριμένη ρουτίνα ο χρόνος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Πρέπει σε πολλαπλά σημεία να γίνεται έλεγχος για το αν έχει κολλήσει η εκτέλεση του προγράμματος για να διακοπή η ρουτίνα και να επαναληφθεί ξανά.

Επίσης χρησιμοποιείτε στο πακέτο και ένας χαρακτήρας συγχρονισμού. Έτσι ο μικροελεγκτής ψάχνει να βρει στο ληφθέν πακέτο το χαρακτήρα * (αστεράκι). Για όση ώρα δεν λαμβάνονται δεδομένα με αυτόν τον χαρακτήρα θεωρείται ότι δεν είναι συγχρονισμένα σωστά και τα αγνοεί. Μόλις αναγνωρίσει τον χαρακτήρα συγχρονισμού γίνεται λήψη 17 bytes δεδομένων από το Xbee τα οποία αποθηκεύονται σε έναν πίνακα 18 στοιχείων. Αμέσως μετά γίνεται η συνένωση των κελιών του πίνακα σε μία μεγάλη αλφαριθμητική μεταβλητή.

Μετέπειτα γίνεται έλεγχος για το αν υπάρχει η λέξη “SOS” μέσα στην μεταβλητή. Εάν δεν υπάρχει τότε σημαίνει ότι το πακέτο του κόμβου του οποίου ελήφθη δεν έχει κάποιο πρόβλημα σε κάποιον από τους αισθητήρες του και έτσι τελειώνει η εκτέλεση της επιστρέφοντας την τιμή 0. Εάν όμως υπάρχει η λέξη μέσα στην μεταβλητή σημαίνει ότι όντως υπάρχει πρόβλημα σε γειτονικό κόμβο και γίνεται επιστροφή της τιμής 1 που μέσα σε κλάσματα του δευτερολέπτου θα σημαίνει κατάσταση συναγερμού στον κόμβο.

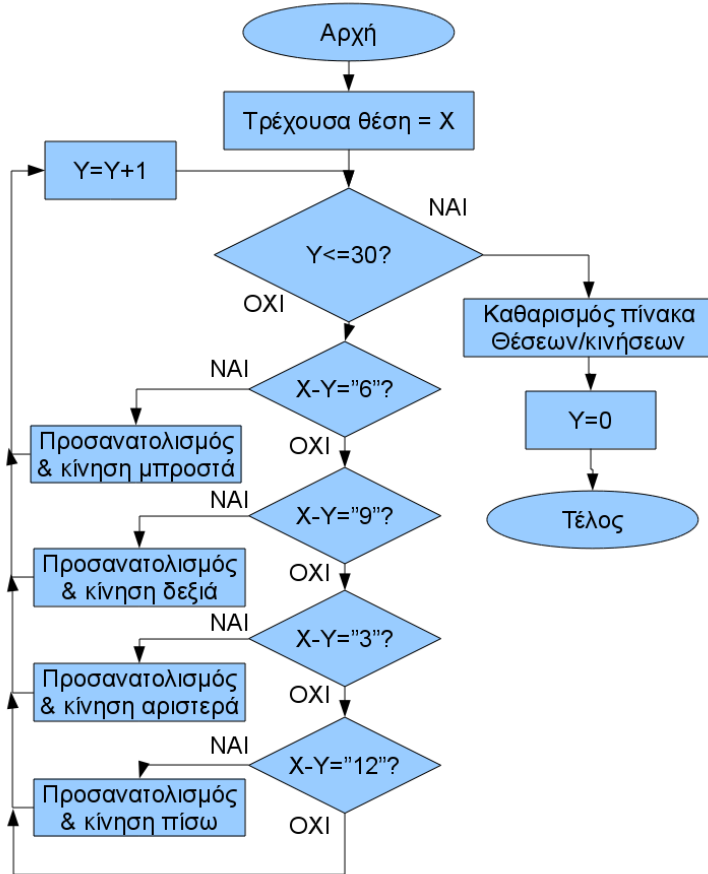
5.1.8 Αντίστροφη πλοήγηση στον χώρο

Αφού διαπιστωθεί από τον κόμβο ότι κάποιος από τους άλλους κόμβους βρίσκεται σε κατάσταση συναγερμού, και αυτό γίνεται με την λήψη πακέτων και αξιολόγηση αυτών, τότε όλοι οι κόμβοι θα μπουν και αυτοί σε κατάσταση συναγερμού και θα ξεκινήσουν την αντίστροφη πλοήγηση στον χώρο με σκοπό να επιστρέψουν όλοι οι κόμβοι στην αρχική τους θέση.

Έτσι πρώτα απ' όλα ορίζουμε σε μία μεταβλητή X την τρέχουσα θέση του κόμβου. Με τον όρο τρέχουσα θέση εννοούμε τον αύξοντα αριθμό κινήσεων που έχει κάνει ο κόμβος κατά την διαδικασία πλοήγησης του στον χώρο. Έτσι για παράδειγμα μπορεί μέσα στα 25 δευτερόλεπτα ο κάθε κόμβος να κινηθεί 15 φορές μπροστά και 3 αριστερά άρα συνολικά 18 κινήσεις, ή 25 φορές. Αυτή η μεταβλητή είναι ιδιαίτερα

χρήσιμη για να μπορεί ο κόμβος να αναπαράγει τις κινήσεις αυτές με αντίστροφη σειρά έτσι ώστε για να φτάσει γρήγορα και με ακρίβεια στην αρχική θέση.

Άρα όπως είναι φυσικό υπάρχει ένας πίνακας μέσα στον οποίο αποθηκεύονται όλες οι κινήσεις του κόμβου, πιο συγκεκριμένα, η κατεύθυνση (εμπρός, πίσω, δεξιά, αριστερά), η γωνία κίνησης (σε μοίρες με την βοήθεια της πυξίδας) και τέλος ο χρόνος για τον οποίο κινούταν ο κόμβος προς την συγκεκριμένη κατεύθυνση. Οπότε με λίγα λόγια η αντίστροφη αναπαραγωγή αυτού του πίνακα θα επιστρέψει τον κόμβο στην αρχική θέση.



Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αντίστροφης πλοήγησης στον χώρο.

Αφού οριστεί η μεταβλητή X, τότε έχουμε ένα βρόχο επανάληψης, που θα εκτελεστεί 30 φορές. Ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει το μέγεθος του πίνακα στον οποίο σώζονται τα δεδομένα θέσης. Μετά από αρκετές δοκιμές κρίθηκε ότι στο χρόνο των 25 δευτερολέπτων που γίνεται η πλοήγηση του κόμβου στο χώρο δεν έχουμε πάνω από 20 με 25 διαφορετικές κινήσεις στον χώρο, οπότε ένας πίνακας αυτού του μεγέθους κρίνεται αρκετός. Εάν αυξηθεί ο χρόνος πλοήγησης τότε εύκολα μπορεί να μεγαλώσει και το μέγεθος του πίνακα έτσι ώστε ο κόμβος να είναι ικανός να καταγράφει και να αναπαράγει αντίστροφα πολύ περισσότερες κινήσεις με σκοπό να μπορεί να καλύψει πολύ περισσότερο έδαφος.

Μόλις τελειώσει αυτός ο βρόχος, σημαίνει ότι ο κόμβος έχει επιστρέψει στην αρχική του θέση, οπότε επόμενο βήμα είναι να καθαρίσουμε τον πίνακα με τις

θέσεις έτσι ώστε να είναι έτοιμος για την επόμενη πλοήγηση και τέλος μηδενίζουμε και την μεταβλητή στην οποία σώζουμε την τρέχουσα θέση μια και τώρα ο κόμβος βρίσκεται στο σημείο μηδέν.

Επόμενο βήμα είναι να γίνει αντίστροφη ανάγνωση του πίνακα θέσης. Αλλά πριν την κίνηση πρέπει πρώτα να προσανατολιστεί ο κόμβος στην σωστή κατεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με τον βοήθεια της πυξίδας που έχει συμπεριληφθεί στον κάθε κόμβο. Αφού μέσω μιας διαδικασίας που θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο γίνει ο σωστός προσανατολισμός του κόμβου τότε γίνεται η κίνηση του προς συγκεκριμένη κατεύθυνση και για συγκεκριμένη διάρκεια.

Για το ποια κατεύθυνση θα ακολουθήσει ο κόμβος, εμπρός, πίσω, αριστερά και δεξιά μας βοηθάει πάλι ο πίνακας θέσης, οι τιμές του οποίου δίνουν εντολή στο κόμβο αν θα κινηθεί εμπρός (με την τιμή 12), δεξιά (με την τιμή 3), πίσω (με την τιμή 6) και αριστερά (με την τιμή 9). Οι αριθμοί 12, 3, 6, 9 έχουν επιλεχτεί γιατί αντιπροσωπεύουν τους δείκτες του ρολογιού και το που δείχνουν στον χώρο.

Παρακάτω παρατίθεται ο ψευδοκώδικας της ρουτίνας. Ο πίνακας με τις θέσεις είναι μεγέθους 30 επί 3 και ονομάζεται “πίνακας_θέσης”. Κάτι που αξίζει να αναφερθεί και να αναλυθεί είναι το γεγονός ότι όταν ο κόμβος θα κινηθεί εμπρός και πίσω ο προσανατολισμός γίνεται πριν την κίνηση ενώ όταν είναι να κινηθεί δεξιά και αριστερά ο προσανατολισμός γίνεται μετά την κίνηση.

Αυτό αποφασίστηκε να γίνεται γιατί μετά από αρκετές δοκιμές διαπιστώθηκε ότι ο κόμβος όταν κινείται εμπρός και πίσω δεν χάνει τον προσανατολισμό του, οπότε από πριν κινηθεί ο κόμβος στρέφεται προς την σωστή κατεύθυνση και απλά κινείται σε ευθεία γραμμή. Όταν όμως πρέπει να κινηθεί και πιο συγκεκριμένα να περιστραφεί γύρω από τον άξονα του είτε δεξιά είτε αριστερά τότε είναι προτιμότερο πρώτα να γίνει αυτή η κίνηση περίπου προς την σωστή κατεύθυνση και μετά να εκτελεσθεί η ρουτίνα προσανατολισμού με σκοπό να στραφεί ο κόμβος ακριβώς στην κατεύθυνση που έχει αποθηκευτεί στον πίνακα θέσης.

Αν ο προσανατολισμός γίνει πριν την περιστροφή τότε κατά την περιστροφή το περιθώριο λάθους είναι πάνω από 15 μοίρες, που όταν αυτό το περιθώριο επαναληφθεί σε μερικές διαδοχικές κινήσεις ο κόμβος έχει αποπροσανατολιστεί πλήρως και είναι αδύνατο να επιστρέψει στην αρχική του θέση.

```
αντίστροφη_πλοήγηση_στο_χώρο() {
    για (i = 0; i <= 30; i++) {
        εάν (πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][0]==6) {
            Προσανατολισμός(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][2]);
            κίνηση_μπροστά(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][1]);
        } αλλιώς_εάν (πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][0]==12) {
            Προσανατολισμός(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][2]);
            κίνηση_πίσω(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][1]);
        } αλλιώς_εάν (πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][0]==9) {
            στροφή_δεξιά(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][1]);
            Προσανατολισμός(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][2]);
        } αλλιώς_εάν (πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][0]==3) {
            στροφή_αριστερά(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][1]);
            Προσανατολισμός(πίνακας_θέσης[τρέχουσα_θέση-i][2]);
        } αλλιώς {
            διακοπή();
        }
        τρέχουσα_θέση--;
    }
    εκκαθάριση_πίνακα_θέσης();
}
```

Τέλος όπως είναι φανερό από τον παραπάνω ψευδοκώδικα, μετά από κάθε επανάληψη του βρόχου επανάληψης έχουμε μείωση κατά ένας της μεταβλητής της τρέχουσας θέσης έτσι ώστε στην επόμενη εκτέλεση του βρόχου να γίνεται η ανάγνωση του σωστού κελιού του πίνακα θέσης.

5.1.9 Επιτυχής προσανατολισμός για σωστή αντίστροφη πλοήγηση

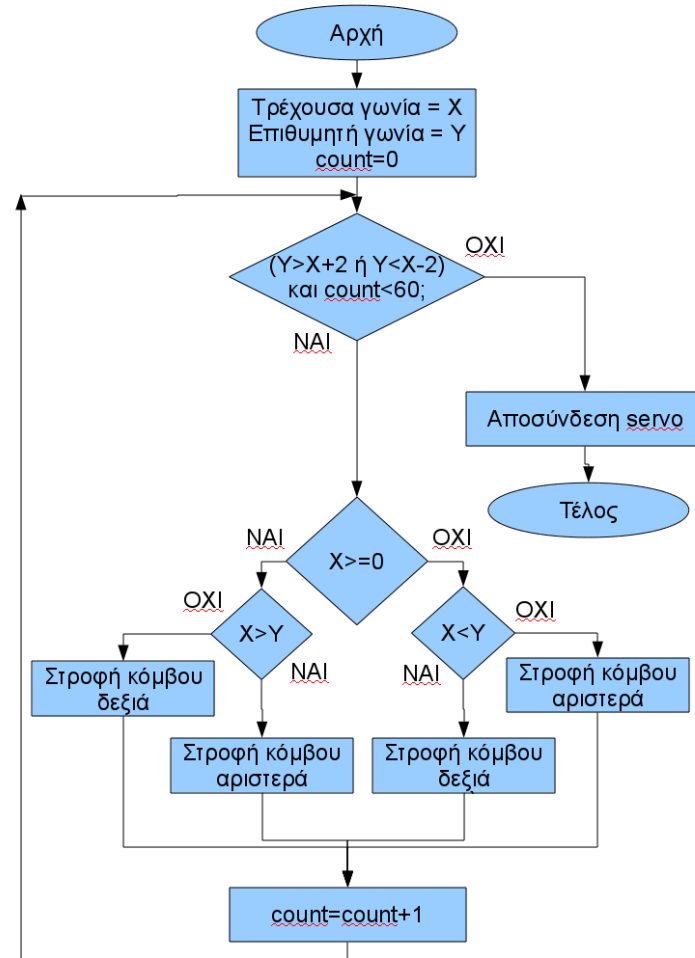
Το κλειδί για την αντίστροφη πλοήγηση του κόμβου από την θέση στάθμευσης μέχρι το σημείο εκκίνησης είναι ο σωστός προσανατολισμός του κόμβους πριν και μετά από κάθε κίνηση

Η διαδικασία του προσανατολισμού είναι πολύ κρίσιμη και πρέπει να γίνεται σωστά και με ακρίβεια. Ένα πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί ήταν το γεγονός ότι λόγω της χρήσης σερβομηχανισμών υπάρχουν πολλά επαγωγικά φορτία στο ηλεκτρονικό κύκλωμα καθώς επίσης και πολλές διακυμάνσεις στην τάση που διαρρέει όλα τα μέρη του κόμβου, και αυτό επηρεάζει αρνητικά την διαδικασία λήψης τιμών από την πυξίδα του κόμβου.

Μία λύση που αρχικά βρέθηκε ήταν να γίνεται λήψη των δεδομένων της πυξίδας μόνο όταν οι σερβομηχανισμοί δεν λειτουργούν και μάλιστα αφού περάσει

και ένα σύντομο χρονικό διάστημα. Μετά από αυτή την αλλαγή οι μετρήσεις ήταν αρκετά πιο σωστές και με λιγότερα σφάλματα, αλλά ακόμα και μετά από αυτή την αλλαγή μερικές φορές λαμβάνονται κάποιες τιμές που είναι εντελώς λανθασμένες.

Έτσι αποφασίστηκε να διατηρηθεί αυτή η μέθοδος αλλά ταυτόχρονα να λαμβάνονται αρκετά δείγματα και να βγαίνει ένας μέσος όρος έτσι ώστε και μερικές ακραίες τιμές όταν λαμβάνονται, αυτές να αντισταθμίζονται από τις υπόλοιπες φυσιολογικές τιμές. Τέλος υπάρχει και μία μεταβλητή η οποία αποτρέπει τον κόμβο από να κάνει συνεχή εκτέλεση της ρουτίνας προσπαθώντας να ταυτίσει τις δύο γωνίες και με αποτέλεσμα την δυσλειτουργία του.



Εικόνα 34: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσανατολισμού.

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής παραπάνω έχουμε τρεις μεταβλητές. Μία που αντιπροσωπεύει τον αριθμό των εκτελέσεων της ρουτίνας, μία για την τρέχουσα γωνία και μία για την επιθυμητή γωνία που θέλουμε να επιτύχουμε. Έτσι το πρώτο πράγμα που ελέγχουμε είναι αν η επιθυμητή γωνία απέχει περισσότερες από 4 μοίρες από την τρέχουσα γωνία. Αν απέχει λιγότερες τότε θεωρούμε ότι είναι μέσα στα ανεκτά πλαίσια και τερματίζεται η ρουτίνα με την αποσύνδεση των σερβομηχανισμών.

Αν η διαφορά μεταξύ επιθυμητής και τρέχουσας γωνίας είναι μεγαλύτερη τότε ελέγχουμε αν η επιθυμητή γωνία είναι θετική ή αρνητική. Αυτό μας βοηθάει για να τοποθετήσουμε σωστά τον κόμβο ώστε να μην κάνει άσκοπες περιστροφές γύρω από τον άξονα του. Πχ αν έχουμε επιθυμητή γωνία τις -90 μοίρες θα περιστρέψουμε τον κόμβο 90 μοίρες αντίστροφα από την φορά του ρολογιού και όχι 270 με την φορά του ρολογιού.

Αμέσως μετά γίνεται έλεγχος αν είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη αντίστοιχα η επιθυμητή με την τρέχουσα γωνία και γίνεται αντίστοιχη περιστροφή του κόμβου προς την μεριά που θα μειώσει την διαφορά των δύο γωνιών. Μετά από την κάθε κίνηση υπάρχει ένας μετρητής ο οποίος ελέγχεται στην αρχή της εκτέλεσης του βρόγχου ο οποίος αποτρέπει το πρόγραμμα από το να κολλήσει για πάντα προσπαθώντας να επιτύχει την ταύτιση της πραγματικής γωνίας με την επιθυμητή.

Παρακάτω παρατίθεται η ρουτίνα γραμμένη σε ψευδοκώδικα. Ένα από τα ορίσματα της ρουτίνας είναι ο αριθμός των δειγμάτων που θα λαμβάνονται από την πυξίδα έτσι ώστε να λαμβάνεται η τρέχουσα γωνία, το άλλο όρισμα είναι απλά η επιθυμητή γωνία.

Ακόμα στο τέλος πρέπει να γίνει η αποσύνδεση των σερβομηχανισμών έτσι ώστε στην επόμενη εκτέλεση της ρουτίνας να μην είναι συνδεδεμένοι και να μπορέσουμε να πάρουμε πιο αξιόπιστα και ακριβή στοιχεία από την πυξίδα σχετικά με την τρέχουσα γωνία.

```
προσανατολισμός(επιθυμητή_γωνία, δείγματα) {
    τρέχουσα_γωνία=λήψη_γωνίας(δείγματα);
    φορά_εκτέλεσης=0;
    για_όσο( (τρέχουσα_γωνία>επιθυμητή_γωνία+2 ή
            τρέχουσα_γωνία<επιθυμητή_γωνία-2) και
            φορά_εκτέλεσης<60) {
        φορά_εκτέλεσης++;
        εάν(επιθυμητή_γωνία>=0) {
            εάν(τρέχουσα_γωνία>επιθυμητή_γωνία) {
                περιστροφή_αριστερά(30);
            } αλλιώς_εάν(τρέχουσα_γωνία<επιθυμητή_γωνία) {
                περιστροφή_δεξιά(30);
            } αλλιώς {
                έξοδος;
            }
        } αλλιώς_εάν(επιθυμητή_γωνία<0) {
            εάν(τρέχουσα_γωνία>επιθυμητή_γωνία) {
                περιστροφή_αριστερά(30);
            }
        }
    }
}
```

```
} αλλιώς_εάν (τρέχουσα_γωνία<επιθυμητή_γωνία) {  
    περιστροφή_δεξιά(30);  
} αλλιώς {  
    έξοδος;  
}  
}  
τρέχουσα_γωνία=λήψη_γωνίας(δείγματα);  
}  
αποσύνδεση_σερβομηχανισμών();  
}
```

Ο αριθμός 30 που βρίσκεται σε παρένθεση μετά από κάθε εντολή περιστροφής του κόμβου γύρω από τον άξονα του είναι η ελάχιστη δυνατή τιμή που μπορούν να λάβουν οι σερβομηχανισμοί και να περιστρέψουν ελάχιστα τον κόμβο. Με την επιλογή μεγαλύτερου αριθμού διαπιστώθηκε ότι ο κόμβος χρειαζόταν πολύ παραπάνω ώρα γιατί με κάθε περιστροφή ο κόμβος περιστρεφόταν περίπου 10 μοίρες και έτσι ήταν αρκετά δύσκολο να καταφέρει να περιστραφεί για 5 μοίρες ή να τις πετύχει μέσω διαδοχικών περιστροφών αριστερά και δεξιά.

Μία εύλογη απορία που μπορεί να δημιουργηθεί στον αναγνώστη είναι πως γίνεται η αποθήκευση των δεδομένων κίνησης του κόμβου στον πίνακα κινήσεων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν αμέσως μετά από την παραμικρή εντολής κίνησης που δίνεται στον κόμβο, αμέσως γίνεται αποθήκευση της κίνησης, της διάρκειας καθώς και της κατεύθυνσης του κόμβου. Έτσι η παραμικρή κίνηση καταγράφεται και αργότερα εύκολα αναπαράγεται με ακρίβεια.

5.2 Υπολογιστής

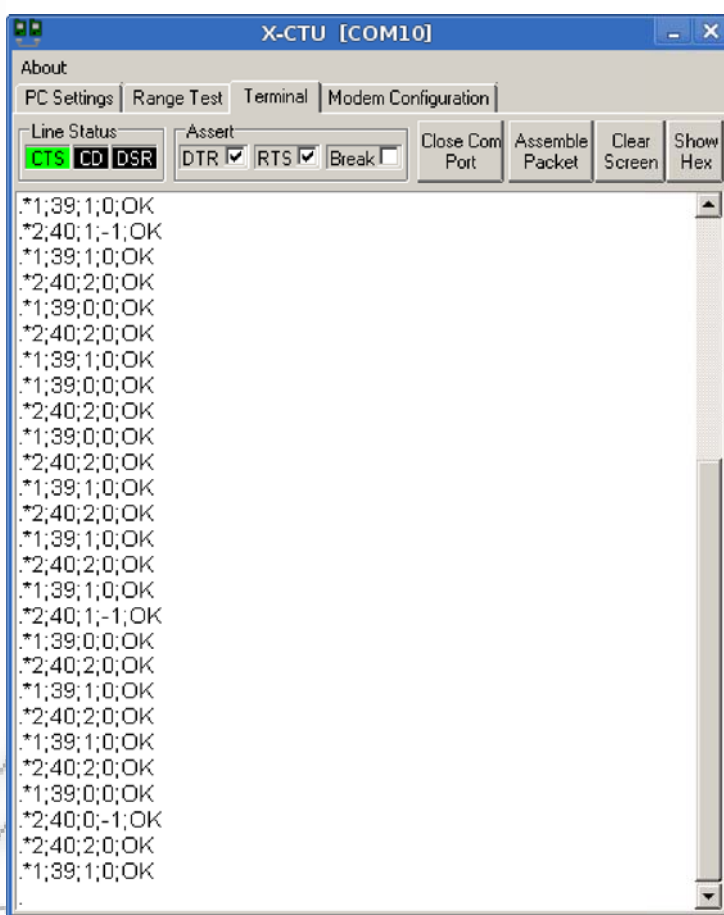
Για ενημερωτικούς σκοπούς μπορούμε να έχουμε και ένα πρόγραμμα στον υπολογιστή μέσω του οποίου να μπορεί να γίνεται αναλυτική προβολή όλων των πακέτων που διακινούνται στο δίκτυο καθώς και να γίνεται αποθήκευση τους έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ανάλυση τους αργότερα με σκοπό την εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων.

Ακόμα σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν κάποιες από τις σημαντικότερες ρυθμίσεις που έγιναν στα ασύρματα modules έτσι ώστε να μπορούν να λειτουργούν με τρόπο που θα είναι ο βέλτιστος και ασφαλέστερος για την τρέχουσα εφαρμογή.

5.2.1 Πρόγραμμα σύνδεσης με τον υπολογιστή

Υπάρχουν δύο τρόποι για να γίνει η λήψη και η ανάγνωση των πακέτων που αποστέλλονται στο δίκτυο μεταξύ των κόμβων.

Ο ένας τρόπος είναι μέσω του επίσημου προγράμματος διαχείρισης των Xbee που ονομάζεται X-CTU και διατίθεται δωρεάν από την ιστοσελίδα της κατασκευάστριας εταιρίας. Το πρόγραμμα μπορεί να είναι πιο εύχρηστο σε σχέση με την άλλη μέθοδο αλλά δυστυχώς δεν προσφέρει πολλές δυνατότητες, αλλά είναι μόνο για να βλέπουμε έναν συγκεκριμένο αριθμό πακέτων.



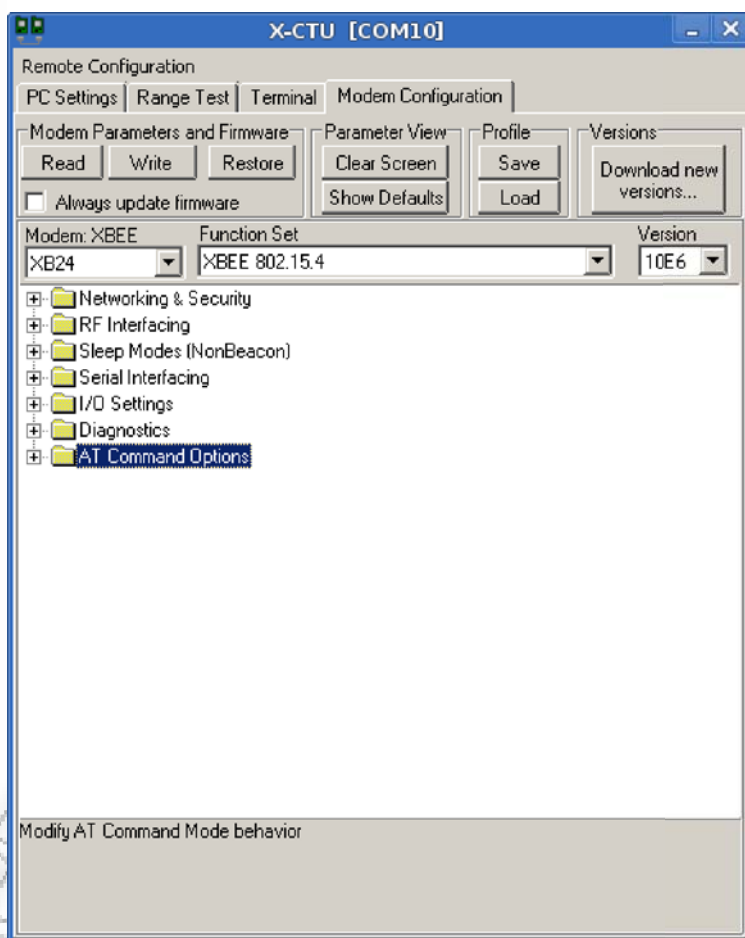
Εικόνα 35: Το πρόγραμμα X-CTU εμφανίζει τα πακέτα που διακινούνται.

Όπως φαίνεται και στην εικόνα το πρόγραμμα μας παρουσιάζει όλα τα πακέτα που διακινούνται στο δίκτυο. Πχ οι κόμβοι με αναγνωριστικά 1 και 2 στέλνουν πακέτα με τις τιμές θερμοκρασίας και κλίσης στους δύο άξονες και την λέξη “OK” με την οποία επισημαίνουν ότι δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στον κόμβο.

Ο άλλος τρόπος είναι μέσω του τερματικού οποιασδήποτε διανομής Linux, (Debian, Fedora, RedHat, Mandriva κτλ) μέσω του οποίου θα βλέπουμε όλα τα πακέτα που διακινούνται. Επίσης μπορεί αυτόματα να γίνεται η αποθήκευση όλων των πακέτων σε ένα αρχείο κειμένου το οποίο μπορεί να αποστέλλεται μέσω ηλεκτρονικού ταχυδρομείου σε πολλαπλούς παραλήπτες που είναι υπεύθυνοι για την επίβλεψη του χώρου.

5.2.2 Ρυθμίσεις Xbee

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα ασύρματα module υποστηρίζουν εντολές AT, μέσω των οποίων μπορούμε να ρυθμιστούν για να ανταποκρίνονται και να λειτουργούν όπως χρειάζεται. Εδώ όμως προτιμήθηκε να γίνει η χρήση του προγράμματος X-CTU της εταιρίας που διαθέτει τα module, μέσω του οποίου μπορούμε να επιλέξουμε ευκολότερα και να ρυθμίσουμε τις παραμέτρους τους. Όλα τα module έχουν ρυθμιστεί ακριβώς με τον ίδιο τρόπο. Όπως φαίνεται στην προηγούμενη εικόνα οι ρυθμίσεις χωρίζονται σε επτά κατηγορίες.

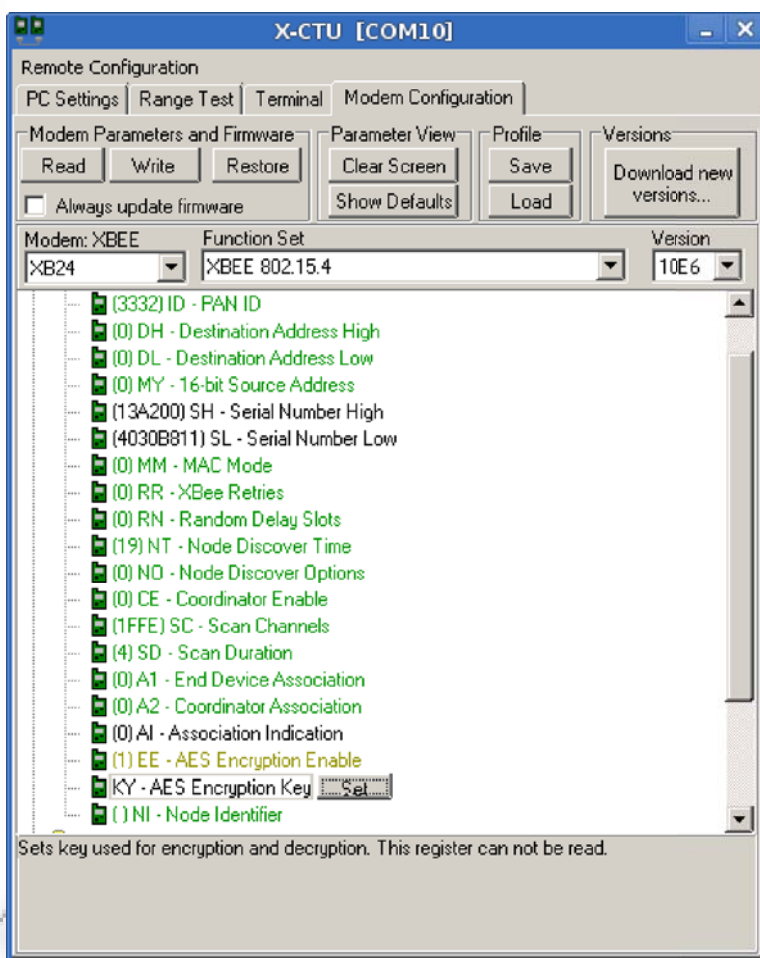


Εικόνα 36: Οι παράμετροι των XBee χωρίζονται σε επτά κατηγορίες.

Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από το πρόγραμμα και αναλύονται οι περισσότερες από τις επιλογές που υπάρχουν διαθέσιμες.

Στην κατηγορία Networking & Security πρώτα απόλα έπρεπε να δηλωθεί ένα κοινό PAN ID. Το PAN ID είναι ένας τετραψήφιος αριθμός ο οποίος είναι ο αριθμός του καναλιού μέσω του οποίου θα επικοινωνούν όλα τα ασύρματα modules, τυχαία επιλέχτηκε το κανάλι 3332. Σε περιοχές όπου δραστηριοποιούνται πολλά τέτοια module διαφορετικών εφαρμογών είναι κρίσιμη η χρήση διαφορετικών καναλιών.

Τα Destination Address High και Destination Address Low είναι οι διευθύνσεις των module που ορίζονται όταν θέλουμε τα πακέτα να πηγαίνουν σε έναν συγκεκριμένο κόμβο και μόνο. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή επειδή χρειάζεται όλα τα module να επικοινωνούν με όλα τα module οι δύο αυτές διευθύνσεις ορίζονται ως 0 έτσι ώστε να έχουμε multicast



Εικόνα 37: Οι παράμετροι της κατηγορίας Networking & Security.

μετάδοση. Τα Serial Number High & Low αποτελούν το πλήρες σειριακό αριθμό του κάθε module, κάτι σαν την MAC Address που υπάρχει στα interface των υπολογιστών.

Το Coordinator Enable έχει την τιμή 0 διότι δεν υπάρχουν στην εφαρμογή modules τα οποία συμπεριφέρονται ως coordinator. Το AES Encryption Enable έχει την τιμή 1 διότι είναι απαραίτητη η κρυπτογράφηση των πακέτων. Στο επόμενο πεδίο AES Encryption Key γίνεται ο ορισμός του μυστικού κλειδιού.

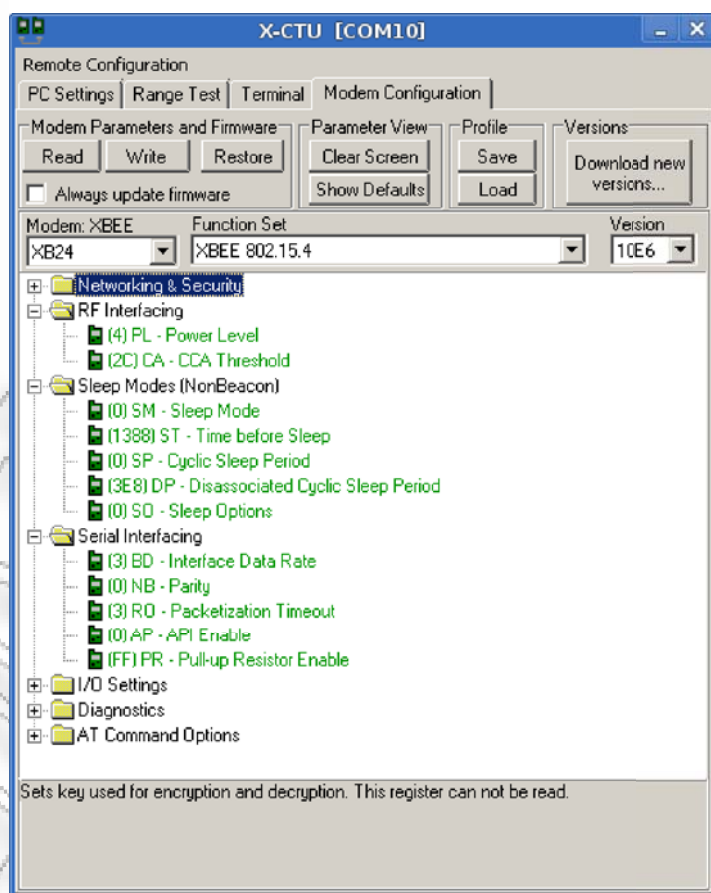
Στην κατηγορία RF Interfacing η πρώτη επιλογή, Power Level αφορά την ισχύ εκπομπής του module η οποία έχει οριστεί στην μέγιστη τιμή της έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη κάλυψη μιας περιοχής.

Στην κατηγορία Sleep Modes η επιλογή Sleep Mode έχει την τιμή 0 διότι δεν είναι αποδεκτή η αδρανοποίηση του module κατά την λειτουργία του κόμβου λόγω του ότι υπάρχει συνεχής διακίνηση πακέτων.

Η κατηγορία Serial Interfacing αφορά τις επιλογές σχετικά με την σειριακή σύνδεση του module με τον μικροελεγκτή ή τον υπολογιστή. Το Interface Data Rate έχει την τιμή 3 η οποία αντιστοιχεί σε ταχύτητα μετάδοσης 9600bps και επιλέχθηκε να μην υπάρχει Parity Bit στην επικοινωνία.

Στην κατηγορία I/O Settings δεν έγινε καμία απολύτως αλλαγή γιατί αφορά περιπτώσεις που πάνω στο module είναι συνδεδεμένοι αισθητήρες χωρίς την χρήση κάποιου μικροελεγκτή ο οποίος θα επεξεργάζεται τα δεδομένα και απλά θα τα αποστέλλει προς έναν κεντρικό κόμβο.

Τέλος στην κατηγορία Diagnostics υπάρχουν κάποιοι αυτοματοποιημένοι έλεγχοι που γίνονται έτσι ώστε να γίνει διάγνωση προβλημάτων καθώς και αντιμετώπισή τους όπως επίσης και στην κατηγορία AT Command Options κάποιες επιλογές που παραμετροποιούν την διαδικασία ρύθμισης των module μέσω των εντολών AT.



Εικόνα 38: Οι υπόλοιπες παράμετροι των Xbee.

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

Πειραματική Εφαρμογή

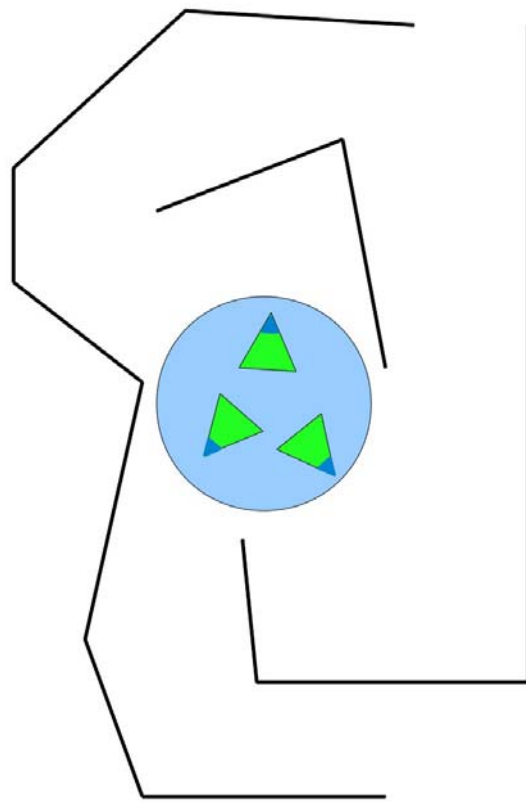
Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η παρουσίαση των αποτελεσμάτων από ένα εικονικό σενάριο με τους τρεις κόμβους της εφαρμογής σε πλήρη λειτουργία.

6.1 Σενάριο δοκιμής

Όπως φαίνεται και στην εικόνα δίπλα το εικονικό σενάριο περιλαμβάνει τρεις κόμβους οι οποίοι όλοι μαζί θα ξεκινήσουν από το ίδιο σημείο, ή καλύτερα από μια ευρύτερη περιοχή η οποία από δω και πέρα θα αναφέρεται ως σημείο 0.

Ο κάθε κόμβος θα συμβολίζεται με ένα πράσινο ισοσκελές τρίγωνο το οποίο στην μία κορυφή είναι χρωματισμένο μπλε σκούρο, για να είναι ευκολότερη η κατανόηση του μπροστινού μεγέθους του κόμβου, δηλαδή προς τα που κατευθύνεται. Οι μαύρες γραμμές περιμετρικά μπορούν να θεωρηθούν ως εμπόδια, ή σαν τους τοίχους του χώρου.

Οι κόμβοι θα ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα. Επί 25 δευτερόλεπτα όλοι οι κόμβοι θα αρχίσουν να πλοηγούνται στο χώρο, αποφεύγοντας εμπόδια και οτιδήποτε μπλοκάρει τον δρόμο τους. Ταυτόχρονα θα γίνεται και αναλυτική καταγραφή όλων των κινήσεων τους. Μόλις παρέλθει ο χρόνος των 25 δευτερολέπτων οι κόμβοι θα σταματήσουν στο σημείο που βρίσκονται.



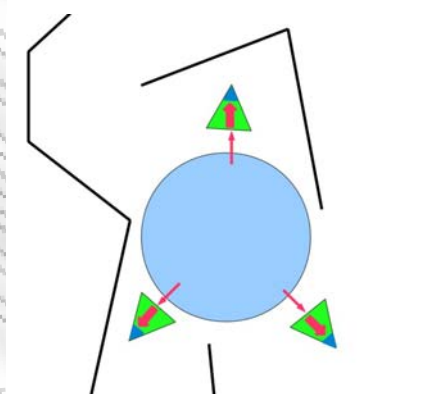
Εικόνα 39: Ο χώρος που θα ξεκινήσουν και θα κινηθούν οι κόμβοι.

Αμέσως μετά θα αρχίσει η διαδικασία ελέγχου των τιμών των αισθητήρων, αποστολής πακέτων προς τους άλλους κόμβους και παραλαβή και αξιολόγηση των ληφθέντων πακέτων. Κάποια στιγμή σε έναν κόμβο θα γίνει τεχνητή αύξηση της θερμοκρασίας και σύμφωνα με την εφαρμογή ο κόμβος αυτός θα αποστείλει σήμα κινδύνου στις υπόλοιπες δύο, οι οποίες θα εισέλθουν σε κατάσταση συναγερμού και θα πλοηγηθούν αντίστροφα στο σημείο μηδέν και θα παραμείνουν εκεί. Ο προβληματικός κόμβος θα συνεχίσει να μεταδίδει πακέτα κινδύνου για όσο χρόνο η θερμοκρασία είναι σε υψηλή θερμοκρασία.

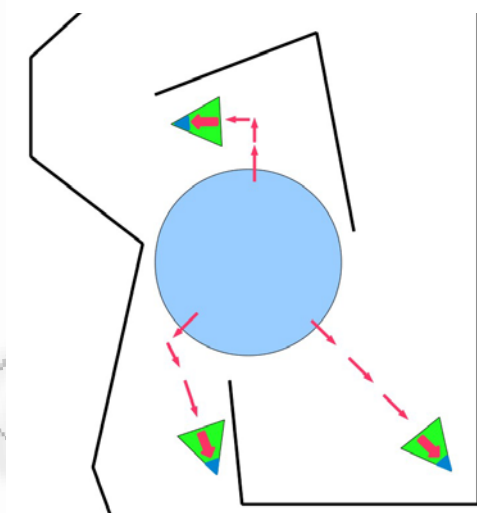
6.2 Εκτέλεση δοκιμής

Ξεκινώντας, όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα στα δεξιά, οι κόμβοι από το σημείο μηδέν ελέγχοντας περιμετρικά και μη βρίσκοντας κανένα εμπόδιο έχουν κινηθεί όλοι από ένα βήμα μπροστά.

Αμέσως μετά οι κόμβοι, όπως φαίνεται στο σχεδιάγραμμα από κάτω, συνεχίζουν την πλοήγηση τους στον χώρο. Ο πάνω κόμβος



Εικόνα 40: Η πρώτη κίνηση των κόμβων από το σημείο 0.



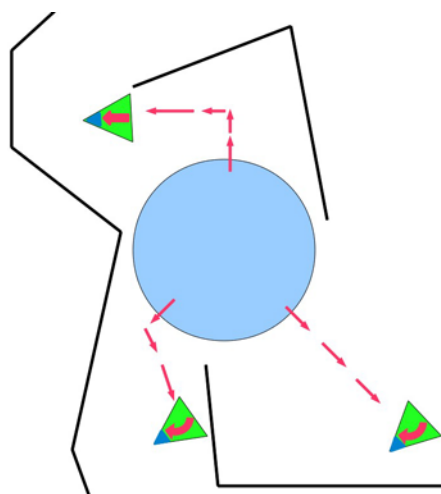
Εικόνα 41: Δύο κόμβοι αναγκάζονται να αλλάξουν κατεύθυνση.

προχωρώντας μπροστά και φτάνοντας κοντά σε εμπόδιο, σωστά αποφάσισε να περιστραφεί προς τα αριστερά διότι η απόσταση από εμπόδιο στα αριστερά είναι μεγαλύτερη από ότι στα δεξιά, άρα έχει περισσότερες πιθανότητες να βρει διέξοδο κινούμενος προς τα εκεί. Με την ίδια λογική ο κάτω αριστερά κόμβος άλλαξε πορεία προς τα αριστερά και προχώρησε.

Οι κόμβοι συνεχίζουν την κίνηση τους στον χώρο μέχρι να περάσει ο χρόνος

των 25 δευτερολέπτων και να σταθμεύσουν και να ξεκινήσουν τον έλεγχο των αισθητήρων.

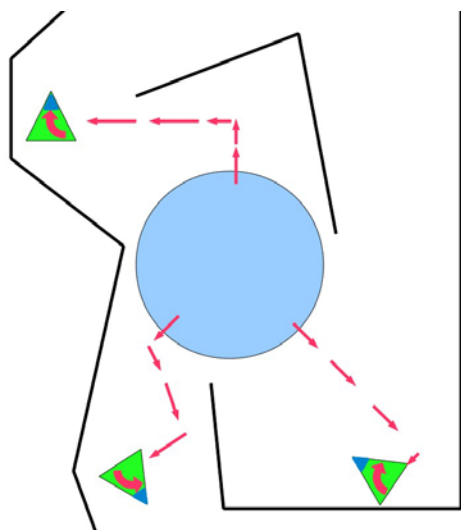
Οι δύο κάτω κόμβοι αντελήφθησαν ότι πλησιάζουν εμπόδιο, και στην συγκεκριμένη περίπτωση ως εμπόδιο είναι ένας τοίχος περιμετρικά, αλλάζουν την πορεία τους στρίβοντας δεξιά και οι δύο, διότι προς εκείνη την κατεύθυνση υπάρχει περισσότερος χώρος να κινηθούν. Ο πάνω κόμβος, μην έχοντας κάποιο εμπόδιο μπροστά του μπορεί και συνεχίζει την ευθεία του πορεία.



Εικόνα 42: Αλλαγή κατεύθυνσης για τους δύο κόμβους.

Συνεχίζοντας την πλοήγηση τους στον χώρο οι κόμβοι αναγκάζονται πάλι να εκτελέσουν διαδοχικές περιστροφές διότι ο

χώρος είναι γεμάτος γωνίες και εμπόδια. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ο κάτω δεξιά κόμβος ο οποίος ξεκίνησε να κατευθύνεται προς μία γωνία και μέσα σε λίγες κινήσεις καταφέρνει να κάνει διαδοχικές περιστροφές 180 μοιρών και να συνεχίζει εκ νέου την πορεία του.



Εικόνα 43: Αλλαγή πορείας και για τους τρεις κόμβους.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση βέβαια ο κόμβος κατευθύνεται πάλι προς το σημείο 0, πράγμα όμως που δεν επηρεάζει καθόλου την όλη εκτέλεση του

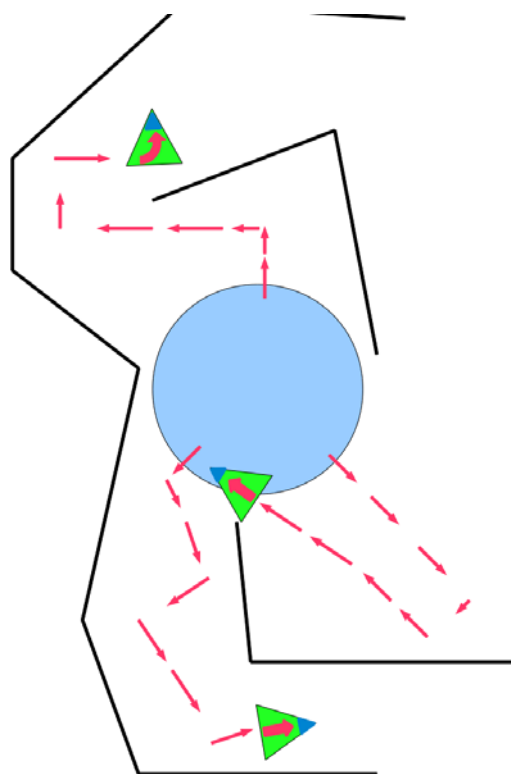
προγράμματος. Αν απομείνει αρκετός χώρος ο κόμβος θα καταφέρει να περάσει από το σημείο 0 και να ξεφύγει από αυτό πηγαίνοντας προς την πάνω αριστερά γωνία.

Όσο κυλούν τα δευτερόλεπτα, οι κόμβοι συνεχίζουν να κινούνται στον χώρο έχοντας αποφύγει επιτυχώς όλα τα εμπόδια που εμφανίστηκαν μπροστά τους και τα οποία διαγνώστηκαν μέσω του αισθητήρα υπερήχων και πιο συγκεκριμένα από τις τιμές σε εκατοστά που επιστρέφονται και έτσι γίνεται η απόφαση από τον μικροελεγκτή για το προς ποια κατεύθυνση θα κινηθεί ο κόμβος.

Όπως βλέπουμε στο σχεδιάγραμμα εικόνα δεξιά οι κόμβοι αντιμετώπισαν πάλι επιτυχώς την αποφυγή εμποδίων.

Ο κόμβος στο πάνω μέρος, έκανε σχεδόν διαδοχικές κινήσεις και με αυτό το τρόπο σιγά σιγά απέφυγε όλα τα εμπόδια και κατευθύνεται προς την έξοδο του χώρου.

Ο κόμβος στην μέση προχωρώντας ευθεία δεν χρειάστηκε να αποφύγει κάποιο εμπόδιο, παρόλο που στα αριστερά του υπάρχει ένα σε πολύ κοντινή απόσταση. Αν βέβαια ήταν στο δρόμο του ο κόμβος πολύ απλά θα άλλαζε

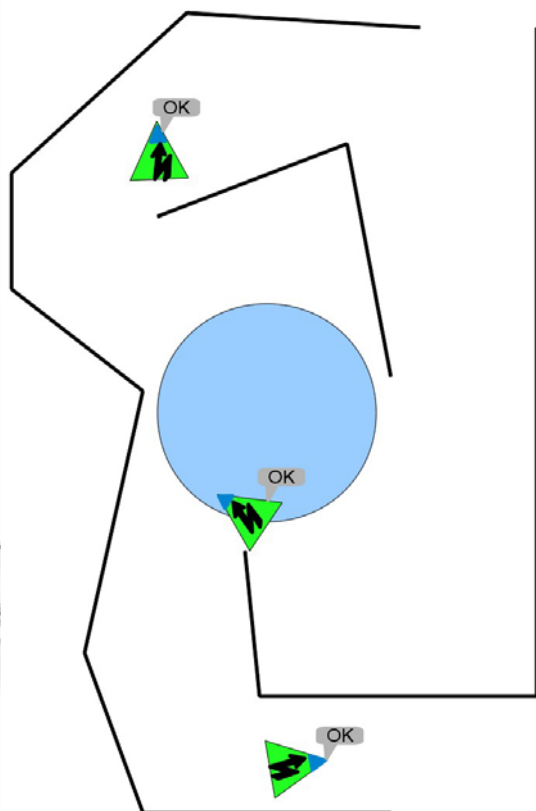


Εικόνα 44: Η πλοήγηση οδώνει προς το τέλος της.

πορεία και θα το απέφυγε χωρίς κανένα πρόβλημα.

Στο σχεδιάγραμμα αριστερά, μετά από τα 25 δευτερόλεπτα πλοήγησης, οι κόμβοι έχουν σταθμεύσει στον χώρο. Αμέσως ξεκινάνε την ανάγνωση των τιμών από τους τοπικούς αισθητήρες και αποστέλλουν πακέτα προς τους άλλους κόμβους ότι δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα.

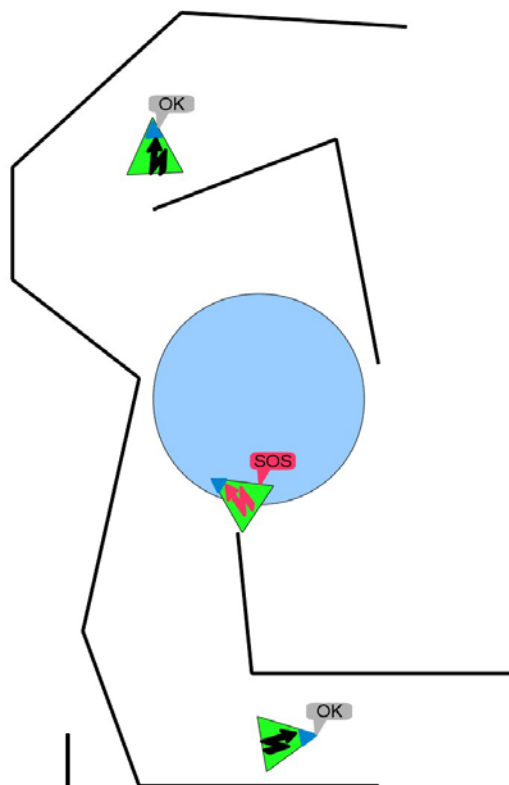
Ταυτόχρονα ελέγχουν τα μηνύματα που λαμβάνουν από τους άλλους κόμβους και τα ελέγχουν για το αν υπάρχει ενσωματωμένο κάποιο μήνυμα κινδύνου.



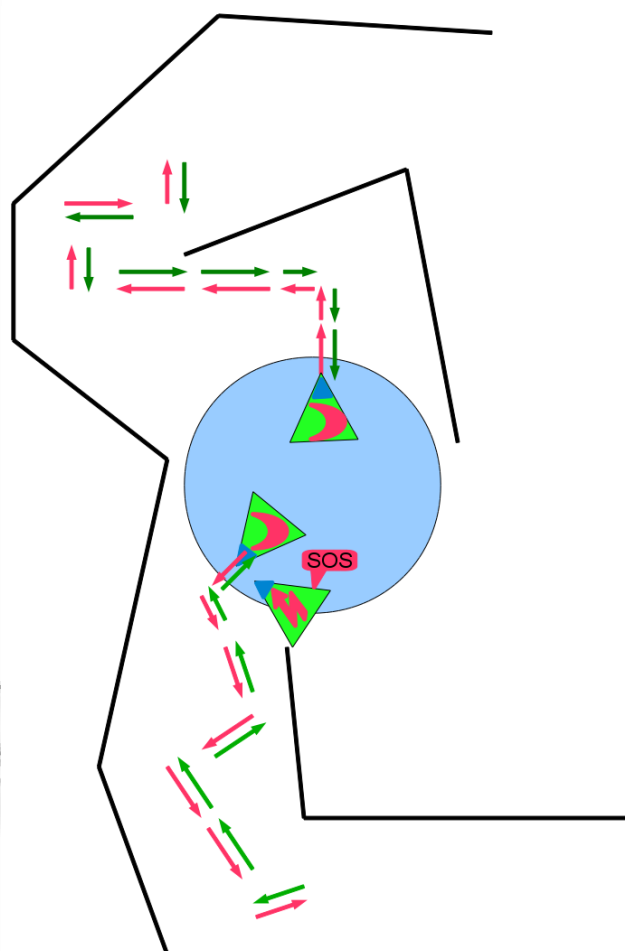
Εικόνα 45: Στάθμευση των κόμβων και έναρξης ελέγχου αισθητήρων.

Ξαφνικά η θερμοκρασία στον κόμβο που βρίσκεται στο κέντρο του σχεδιαγράμματος στα δεξιά ανεβαίνει απότομα και σε τιμές πολύ πάνω από τις ενδεδειγμένες και επιτρεπόμενες.

Αμέσως ο μικροελεγκτής του κόμβου θέτει σε κατάσταση συναγερμού τον κόμβο. Την ίδια στιγμή δημιουργείται ένα πακέτο με τις τιμές των αισθητήρων και μαζί με την λέξη “SOS” στο τέλος του πακέτου και γίνεται μετάδοση του προς τους άλλους κόμβους.



46: Αποστολή μηνύματος κινδύνου από υβο.



Εικόνα 47: Με την λήψη του μηνύματος κινδύνου οι κόμβοι επιστρέφουν.

Μόλις οι υπόλοιποι κόμβοι λάβουν το πακέτο με το μήνυμα κινδύνου τότε και αυτοί μπαίνουν σε κατάσταση συναγερμού. Ο κόμβος με το πρόβλημα, για όσο η θερμοκρασία συνεχίσει να είναι σε υψηλά επίπεδα, θα συνεχίσει να αποστέλλει τα μηνύματα κινδύνου προς το υπόλοιπο δίκτυο.

Αυτό αμέσως ενεργοποιεί την αντίστροφη πλοήγηση τους από το σημείο που είχαν σταθμεύσει πίσω στο

σημείο μηδέν. Σε αυτό βοηθάει η καταγραφή κινήσεων κατά την πλοήγηση τους αλλά και η πυξίδα η οποία μπορεί να προσανατολίσει σωστά τον κάθε κόμβο έτσι ώστε να μπορεί να περιστρέφεται με την μέγιστη επιτρεπτή ακρίβεια και να αναπαράγει σωστά τις καταγεγραμμένες κινήσεις. Επίσης ο κόμβος με το πρόβλημα επίσης ξεκινάει να περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του διαδοχικά αριστερά και δεξιά χωρίς όμως να μετακινείται από την θέση του.

Τέλος μόλις επιστρέψουν σε φυσιολογικά επίπεδα οι τιμές της θερμοκρασίας, οι κόμβοι μετά από 10 δευτερόλεπτα θα επαναλάβουν εκ νέου όλη την διαδικασία της πλοήγησης στον χώρο προς διαφορετικές κατευθύνσεις ή ακόμα και τις ίδιες αν δεν αλλάξει κάτι στον χώρο ή αν δεν αλλάξει η θέση τους ως προς τον χώρο.

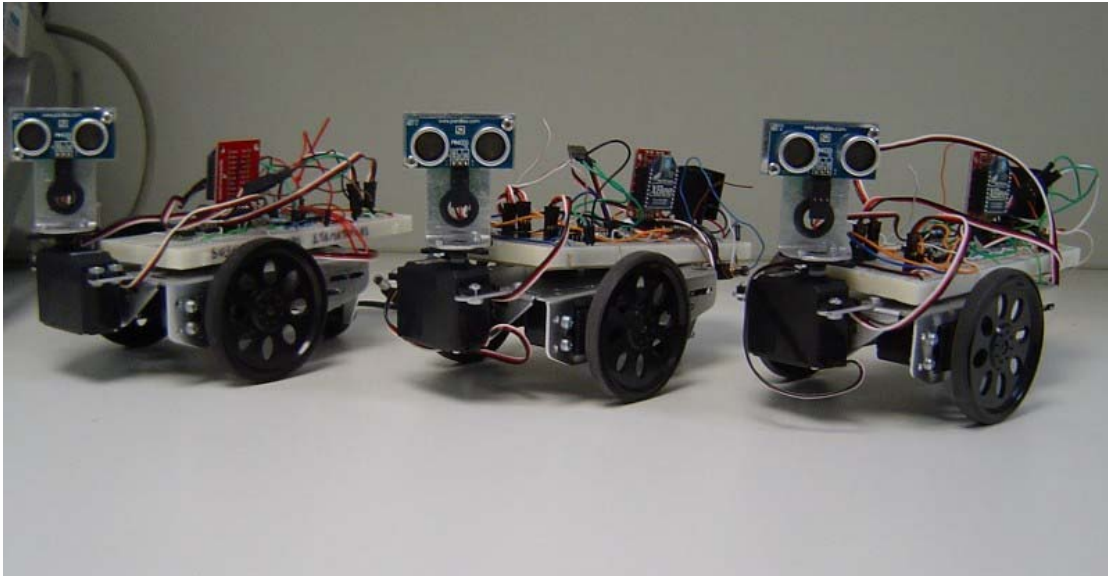
6.3 Αποτελέσματα δοκιμής

Μετά από το την εκτέλεση του παραπάνω σεναρίου τα αποτελέσματα τις εφαρμογής είναι τα παρακάτω:

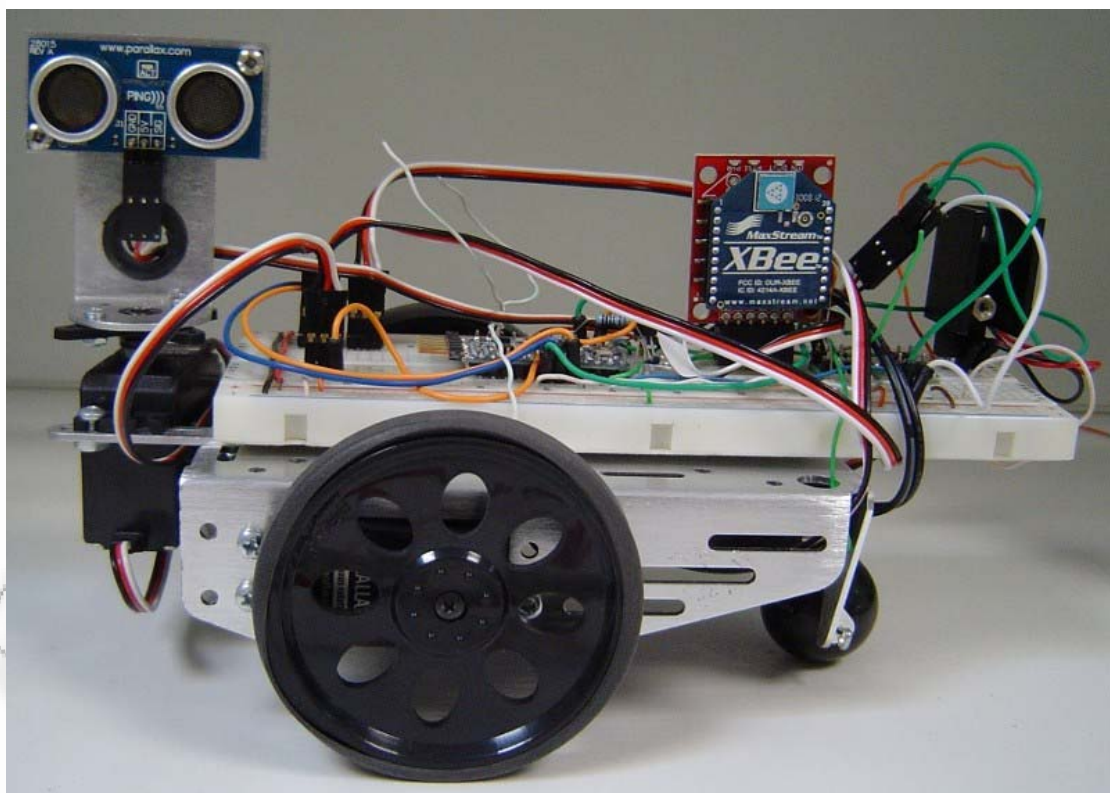
- Επιτυχής πλοήγηση των κόμβων στον χώρο προς όλες τις κατευθύνσεις και σωστή καταγραφή αυτών.
- Επιτυχής έλεγχος και αποφυγή εμποδίων και αδιεξόδων
- Επιτυχής ανάγνωση των αισθητήρων και αξιολόγηση τους
- Επιτυχής αποστολή αλλά και λήψη των πακέτων δεδομένων
- Επιτυχής ενημέρωση των κόμβων για την κατάσταση συναγερμού
- Επιτυχής αντίστροφη πλοήγηση στο σημείο 0 όλων των κόμβων

Κρίνοντας από τα παραπάνω δεν υπήρξε κανένα πρόβλημα και η όλη εφαρμογή λειτούργησε όπως ακριβώς σχεδιάστηκε και είχε υπολογιστεί ότι θα συμπεριφερθεί.

Τέλος παρακάτω παρατίθενται μερικές φωτογραφίες από τους κόμβους που αναπτύχθηκαν.



Εικόνα 48: Οι τρεις κόμβοι στον πάγκο του εργαστηρίου,



Εικόνα 49: Ο κόμβος από πλάγια, διακρίνεται το ασύρματο module.

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

Συμπεράσματα & Προτάσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχουν τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας καθώς και μερικές πιθανές εφαρμογές της στην καθημερινή μας ζωή. Ακόμα υπάρχουν και κάποιες προτάσεις που μπορούν να ακολουθηθούν από μελλοντικούς σπουδαστές ή/και ερευνητές ώστε να αναπτυχθεί περαιτέρω αυτή η εφαρμογή με πρόσθετες λειτουργίες και δυνατότητες.

7.1 Συμπεράσματα

Το κύριο συμπέρασμα είναι ότι με αρκετά μικρό κόστος (υλικών αλλά και εργατοωρών για την δημιουργία) μπορούμε να έχουμε αποτελεσματική επόπτευση ενός χώρου, όσο μεγάλου επιθυμούμε με τον ανάλογο αριθμό κόμβων έτσι ώστε να έχουμε επαρκή κάλυψη του.

Ένα ακόμα συμπέρασμα είναι ότι η επιλογή του πρωτοκόλλου ZigBee 802.15.4 για εφαρμογές τέτοιου τύπου φαίνεται να είναι ιδανική. Μπορεί η εμβέλεια λειτουργίας στην εργασία να μην ήταν πολύ μεγάλη αλλά στην αγορά υπάρχουν συσκευές που υποστηρίζουν αυτό το πρωτόκολλο και προσφέρουν ταυτόχρονα πολλαπλάσια εμβέλεια μέσω επισυναπτόμενων κεραιών.

Τέλος πρέπει να τονιστεί πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων σε έναν χώρο διότι σε ελάχιστο χρόνο παρακολουθούνται πάρα πολλά φυσικά μεγέθη, χώροι κτλ και μόλις παρατηρηθεί ανωμαλία σε κάποιο από αυτά, γίνεται ενημέρωση όλων των κόμβων μέσα σε ελάχιστα δευτερόλεπτα και τότε όλοι μαζί οι κόμβοι μπορούν να δράσουν ή/και να ειδοποιήσουν τον διαχειριστή του συστήματος για το ενδεχόμενο πρόβλημα.

7.2 Εφαρμογές

Η τρέχουσα εργασία μπορεί να βρει εφαρμογή σε πολλούς τομείς είτε της βιομηχανίας είτε μέσα σε οικίες. Παρακάτω υπάρχουν κάποιες πιθανές εφαρμογές

που μπορεί να γίνει χρήση της τρέχουσας εφαρμογής με κάποιες μικρές παραλλαγές όσον αφορά τα αισθητήρια που θα χρησιμοποιηθούν.

7.2.1 Έλεγχος και ασφάλεια σε σπίτι/επαγγελματικό χώρο

Με ένα σχετικά μικρό αριθμό κόμβων τοποθετημένοι μέσα στον χώρο ή και στα δωμάτια θα μπορεί να γίνεται αποτελεσματική επόπτευση του για κίνηση με μικρότερο κόστος σε σχέση με την ύπαρξη ενός φύλακα για την φύλαξη και επίβλεψη, ελέγχοντας και καταγράφοντας όλα τα φυσικά μεγέθη όπως θερμοκρασία, υγρασία, επίπεδα CO₂ κ.α Την στιγμή που ένας κόμβος μεταβεί σε κατάσταση συναγερμού και μεταδώσει τα πακέτα με το μήνυμα “SOS” στο δίκτυο τότε όλοι οι κόμβοι θα κινηθούν με σκοπό την περαιτέρω ενημέρωση του διαχειριστή του συστήματος.

7.2.2 Πρόληψη επέκτασης πυρκαγιών σε δάση

Μετατρέποντας ελάχιστα τους κόμβους, έτσι ώστε να είναι με δυνατότερους σερβομηχανισμούς, καλύτερα μονωμένοι για προστασία από τα φυσικά φαινόμενα και φυσικά με μεγαλύτερες μπαταρίες, θα μπορούσαν να τοποθετηθούν σε τεράστιες εκτάσεις δασών που συχνά υποφέρουν από ανεξέλεγκτες πυρκαγιές. Λόγω της οπτικής επαφής των κόμβων θα μπορούν να τοποθετούνται σε μεγαλύτερες αποστάσεις και έτσι αυτόματα μειώνεται το κόστος διότι με τον ίδιο αριθμό κόμβων θα έχουμε κάλυψη πολύ μεγαλύτερης περιοχής.

Έτσι όλοι οι κόμβοι τοποθετημένοι θα ξεκινήσουν την παρακολούθηση του δάσους. Επειδή ο όγκος των δεδομένων θα είναι μεγάλος κρίνεται απαραίτητη η αύξηση του bitrate στην επικοινωνία των ασύρματων module έτσι ώστε να μην χάνονται δεδομένα, αυτό θα μεταφέρει περισσότερο βάρος στον μικροελεγκτή που θα πρέπει να επεξεργάζεται, να ελέγχει και να αποστέλλει περισσότερα δεδομένα αλλά είναι αρκετά ισχυρός ώστε να αντεπεξέλθει στον μεγαλύτερο όγκο πακέτων και δεδομένων.

Όταν ανιχνευτεί απότομη αύξηση της θερμοκρασίας ή μεγαλύτερα επίπεδα συγκέντρωσης του CO₂ που θεωρητικά σημαίνει την πιθανότητα ότι έχει ξεσπάσει

πυρκαγιά, ο κόμβος θα ειδοποιεί τους υπόλοιπους για τον επικείμενο κίνδυνο αλλά και ταυτόχρονα, εφόσον εξοπλιστεί με δύο αισθητήρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, θα μπορεί να μετακινηθεί προς την καρδιά της πυρκαγιάς και με έναν ενσωματωμένο πυροσβεστήρα που θα μεταφέρει πάνω του, θα εναποθέσει επιβραδυντικό υλικό έτσι ώστε να μην πάρει μεγάλες διαστάσεις η πυρκαγιά έως ότου έρθει ειδική μονάδα να αντιμετωπίσει το πρόβλημα.

Τέλος θα μπορεί ο κάθε κόμβος να φέρει μία κάμερα χαμηλής ανάλυσης, η οποία θα ενεργοποιείται μόνο στην κατάσταση συναγερμού και θα αποστέλλει μία εικόνα από το σημείο που υπάρχει η υποτιθέμενη πυρκαγιά, διότι οι αισθητήρες και να υπάρχουν σε ένα χώρο, μία εικόνα μπορεί να αξιολογηθεί γρηγορότερα και με μεγαλύτερη ευκολία. Η κάμερα θα ήταν καλό να είναι υπέρυθρη έτσι ώστε να μπορεί να γίνεται χρήση της και κατά την διάρκεια της νύχτας αλλά και για την πλοήγηση προς την πυρκαγιά.

7.2.3 Παρακολούθηση πολλαπλών ασθενών σε νοσοκομεία

Η τρέχουσα εργασία μπορεί να βρει πολλές εφαρμογές και στον τομέα της υγείας όπου η παρακολούθηση πολλών διαφορετικών μεταβλητών και η άμεση ειδοποίηση κάποιου γιατρού είναι κρίσιμη και απαραίτητη για την ασφάλεια του κάθε ασθενή αλλά και όχι μόνο.

Μία εφαρμογή μπορεί να είναι η εγκατάσταση πολλαπλών αισθητήρων σε ασθενείς με κινητικά προβλήματα και έτσι ο κάθε ασθενής θα αποτελεί έναν κόμβο. Μόλις κάποιος από τους αισθητήρες αναγνώσει κάποια τιμή που ίσως σημαίνει ότι ο ασθενής έχει κάποιο πρόβλημα, τότε αυτόματα θα ενημερώνονται όλοι οι κόμβοι με την λογική ότι ίσως υπάρχει κάποιος γιατρός ήδη σε κάποιον ασθενή στην κοντινή περιοχή έτσι ώστε να μην χαθεί πολύτιμος χρόνος για να έρθει γιατρός από την ευρύτερη περιοχή του κτηρίου.

Αν ακόμα ως κόμβος θεωρηθεί το αναπηρικό καροτσάκι του κάθε ασθενούς, αμέσως μόλις ο κόμβος θεωρήσει ότι ο ασθενής που μεταφέρει δεν βρίσκεται σε καλή κατάσταση και έχει κάποιο πρόβλημα, θα τον μεταφέρει σε κάποιο κεντρικό σημείο του νοσοκομείου, που εκεί πάντα υπάρχει κάποιος γιατρός, αποφεύγοντας εμπόδια

κατά την επιστροφή και έτσι να γίνει άμεση διάγνωση και επίλυση του προβλήματος του ασθενή.

7.2.4 Έλεγχος κατανάλωσης ενέργειας συσκευών

Στην σημερινή εποχή, η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας είναι ένα θέμα που απασχολεί πολλούς ερευνητές αλλά και διάφορες εταιρίες που θέλουν να εξοικονομούν ενέργεια είτε λόγω οικολογικών ανησυχιών είτε λόγω οικονομικών. Έτσι μια ακόμα εφαρμογή θα μπορούσε να είναι η εγκατάσταση του κάθε κόμβου πάνω σε ενεργοβόρα μηχανήματα.

Ως αισθητήρες θα μπορούσαν να τοποθετηθούν μετρητές ενέργειας οι οποίοι συνεχώς θα ενημερώνουν τον κάθε κόμβο για την τρέχουσα κατανάλωση της κάθε συσκευής. Ο κάθε κόμβος θα περιλαμβάνει οδηγίες για τις ενδεδειγμένες τιμές κατανάλωσης κάθε στιγμή της ημέρας και γενικά το όλο πρόγραμμα λειτουργίας του χώρου. Έτσι όταν διαπιστωθεί αυξημένη κατανάλωση ώρα και μέρα που έπρεπε να είναι σχεδόν μηδενική, ο κόμβος θα μπορεί να αποσυνδέει το μηχανήμα από την παροχή ενέργειας και όταν περάσει η ώρα ή και η μέρα τότε να επανασυνδέεται κανονικά.

7.3 Μελλοντική εξέλιξη

Η τρέχουσα διπλωματική εργασία μπορεί να αναπτυχθεί περαιτέρω προς διάφορες κατευθύνσεις από μελλοντικούς σπουδαστές ή/και ερευνητές. Παρακάτω υπάρχουν μερικές κατευθυντήριες ιδέες για το τι θα μπορούσε να γίνει για να εξελιχθεί η εφαρμογή καθώς και κάποιες ενδεικτικές λύσεις σε μερικά προβλήματα που θα εμφανιστούν.

7.3.1 Μέτρηση & παρακολούθηση περισσότερων μεγεθών

Μία σχετικά εύκολη μελλοντική βελτίωση της εργασίας μπορεί να είναι η προσθήκη παραπάνω αισθητήρων για την μέτρηση περισσότερων μεγεθών. Τέτοια

μεγέθη μπορεί να είναι υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, έλεγχος για ύπαρξη διαφόρων επιβλαβών αερίων για τον άνθρωπο, αισθητήρες καπνού και άλλα.

Ένα πιθανό πρόβλημα που θα πρέπει να αντιμετωπιστεί είναι ότι ο τρέχον μικροελεγκτής δεν διαθέτει άλλες διαθέσιμες εισόδους για να δεχτεί νέα αισθητήρια. Μία λύση μπορεί να είναι η χρήση ψηφιακών αισθητήρων που στηρίζονται στο πρωτόκολλο “2-Wire Serial Interface”, το οποίο περιλαμβάνει δύο γραμμές σύνδεσης με το μικροελεγκτή, μία για συγχρονισμό και μία για δεδομένα, πάνω στις οποίες μπορούν να συνδεθούν μερικές δεκάδες αισθητήρια. Αυτό είναι δυνατό διότι το κάθε ένα αισθητήριο έχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό ID μέσω του οποίου γίνεται η αναγνώριση και η ανάγνωση των τιμών. Πχ ο μικροελεγκτής στέλνει αίτημα σε ένα συγκεκριμένο αισθητήρα και απαντάει μόνο αυτός, έτσι δεν υπάρχει σύγκρουση και απώλεια δεδομένων στην γραμμή. Ακόμα υπάρχει αντίστοιχο πρωτόκολλο το οποίο χρησιμοποιεί μόνο μία γραμμή στην οποία είναι πολυπλεγμένος ο συγχρονισμός με τα δεδομένα το οποίο είναι εξίσου εύχρηστο και αξιόπιστο.

7.3.2 Φωτοβολταϊκά πάνελ για μέγιστη αυτονομία

Περαιτέρω ανάπτυξη μπορεί να δεχτεί ο όλος κόμβος όσον αφορά το θέμα τις ενέργειας και πιο συγκεκριμένα την συνεχή παροχή αυτής. Σύμφωνα με μετρήσεις που έγιναν, ο κάθε κόμβος απαιτεί περίπου 100mA ρεύματος όταν είναι σε αδρανή κατάσταση και 400mA όταν κινείται στον χώρο. Όπως είναι φυσικό, όταν έχουμε κίνηση του κόμβου, μεγαλύτερα ποσά ρεύματος απαιτούνται λόγω της λειτουργίας των σερβομηχανισμών και άλλων συστημάτων του κόμβου που στην αδρανή κατάσταση δεν λειτουργούν και ούτε τροφοδοτούνται με ρεύμα.

Η μπαταρία που προτείνεται για τον κάθε κόμβο είναι ιόντων λιθίου και έχει χωρητικότητα όταν είναι πλήρως φορτισμένη περίπου 2000mAh. Αυτό με απλές πράξεις μεταφράζεται σε περίπου 20 ώρες αδρανούς λειτουργία του κάθε κόμβου ή σε 5 ώρες κίνησης του κόμβου. Η χρήση μπαταρίας μεγαλύτερης χωρητικότητας είναι εφικτή, αλλά λόγω του μεγαλύτερου όγκου και βάρους της, κρίνεται ασύμφορη διότι θα απαιτούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας για την κίνηση του κόμβου καθώς και ισχυρότεροι κινητήρες πράγμα που θα έχει τα ίδια νούμερα αυτονομίας και κάθετη αύξηση του μεγέθους του κόμβου. Ακόμα ο χρόνος πλήρους φόρτισης μίας

μεγαλύτερης μπαταρίας θα είναι πολλαπλάσιος της αρχικής, πράγμα που αφαιρεί την δυνατότητα κίνησης του κόμβου όταν θα πρέπει να ξοδεύονται πχ 10 ώρες για την φόρτιση της.

Το παραπάνω πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με την χρήση μικρών φωτοβολταϊκών πάνελ που μπορούν να ντύσουν τον κόμβο περιμετρικά. Μεγάλο πλεονέκτημα είναι η συνεχής φόρτιση της μπαταρίας από τις ακτίνες του ηλίου, έτσι κάθε φορά που ο ήλιος δύει, η μπαταρία θα είναι πλήρως φορτισμένη και θα επαρκεί για τον κόμβο για όσες ώρες διαρκεί η νύχτα αλλά και για την επόμενη μέρα αν αυτή είναι χωρίς ηλιοφάνεια.

Τα φωτοβολταϊκά πάνελ καλό θα είναι να είναι τοποθετημένα σε διάφορες γωνίες και να είναι μικρότερου μεγέθους παρά να είναι ένα μεγάλο πάνελ στην οροφή του κόμβου το οποίο δεν θα επιτρέπει πολλαπλές γωνίες πρόσπτωσης των ακτίνων του ηλίου, με αποτέλεσμα να έχουμε εκμετάλλευση των ακτίνων μόνο τις ώρες που αυτές καταφέρνουν να έχουν την κατάλληλη γωνία. Έτσι με διάφορα μικρά πάνελ σε διάφορες γωνίες εξασφαλίζουμε περισσότερες πιθανότητες απορρόφησης των ακτίνων του ηλίου όλες τις ώρες της ημέρας.

Για την σωστή επιλογή των φωτοβολταϊκών πάνελ πρέπει να εκπονηθεί περαιτέρω μελέτη έτσι ώστε να γίνει η σωστή επιλογή αυτών όσον αφορά το δείκτη απόδοσης τους καθώς και τα υποστηρικτικά ηλεκτρονικά κυκλώματα που θα διαχειρίζονται αυτή την δωρεάν και πράσινη ενέργεια είτε τροφοδοτώντας την κατευθείαν στον κόμβο είτε τροφοδοτώντας την μπαταρία για την φόρτιση της.

7.3.3 Αυτόματη εύρεση σταθμού φόρτισης του κόμβου

Μία ακόμα καλύτερη λύση για μέγιστη συνεχή αυτονομία των κόμβων, για ελάχιστη έως και μηδενική επίβλεψη του συστήματος από κάποιον διαχειριστή, είναι η δημιουργία μερικών σταθμών φόρτισης των μπαταριών του κάθε κόμβου. Ο υπάρχον μικροελεγκτής διαθέτει αναλογικές εισόδους στις οποίες μπορεί να συνδεθεί η τροφοδοσία των μπαταριών. Έτσι όταν η τάση πέφτει κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο, ο κόμβος θα μπαίνει σε λειτουργία ανεύρεσης σταθμού φόρτισης.

Ο κάθε σταθμός φόρτισης μπορεί για παράδειγμα να περιέχει μερικές υπέρυθρες φωτοδιόδους και ο κόμβος να έχει δύο αισθητήρια για ανεύρεση υπέρυθρου φωτός στις δύο μπροστά του άκρα και έτσι συγκρίνοντας τις τιμές των δύο αισθητήρων ο κόμβος να μπορεί μετακινηθεί δεξιά και αριστερά αντίστοιχα και μετά από λίγο να φτάνει να ανακαλύπτει τον σταθμό φόρτισης και με την επαφή για παράδειγμα δύο μεταλλικών ελασμάτων σε συγκεκριμένο ύψος να γίνεται φόρτιση της μπαταρίας και μόλις η τάση ανέβει πάνω από ένα όριο ο κόμβος να επιστρέφει πάλι στην κανονική του θέση.

Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα όσο φορτίζει ο κόμβος να εκτελούνται σωστά όλες οι υπόλοιπες λειτουργίες του, δηλαδή η μέτρηση και η μετάδοση διαφόρων φυσικών μεγεθών απλά να μην μπορεί να πλοηγείται στον χώρο μέχρι να φορτιστούν οι μπαταρίες. Για να μειωθεί ο χρόνος φόρτισης θα ήταν καλή λύση να γίνει χρήση μπαταριών πολυμερών λιθίου και όχι νικελίου καδμίου κτλ που έχουν αρκετά μειονεκτήματα και μειωμένη διάρκεια ζωής.

7.3.4 Αιωρούμενος Κόμβος

Μία ακόμα εξέλιξη ως προς τους κόμβους θα μπορούσε να είναι η αιώρηση τους στον αέρα. Από δύο και πάνω έλικες τοποθετημένοι στον κόμβο θα του έδιναν την ελευθερία κίνησης σε όλο το χώρο ενός δωματίου ή ακόμα και σε εξωτερικό χώρο. Το ιδανικό σενάριο είναι να υπάρχουν τέσσερις έλικες σε σχήμα X, ένας σε κάθε γωνία, το οποίο προσφέρει μεγάλη σταθερότητα στην πτήση και ακριβείς κινήσεις.

Πρέπει να γίνουν πολλές βελτιώσεις όσον αφορά την μείωση του βάρους του κόμβου σε σημαντικά επίπεδα (~150-200gr) για να υπάρχει επάρκεια της μπαταρίας για την αιώρηση και την κίνηση όταν υπάρχει πρόβλημα σε άλλο κόμβο. Ακόμα θα ήταν καλή ιδέα η χρήση φωτοβολταϊκών πάνελ γιατί θα είναι πολύ δύσκολη η μείωση της κατανάλωσης των μοτέρ για τους έλικες, οπότε η συνεχής ενίσχυση και φόρτιση της μπαταρίας είναι απαραίτητη.

Πολλές αλλαγές θα χρειαστεί να γίνουν και στον πηγαίο κώδικα του κόμβου. Θα πρέπει να προστεθούν επιπρόσθετοι αισθητήρες, όπως γυροσκόπιο κτλ για να μπορεί ο κόμβος να έχει δεδομένα από αυτούς και να εγγυάται σωστή και

απροβλημάτιστη λειτουργία και πτήση στον χώρο. Επίσης καλό θα ήταν να τοποθετηθούν περιμετρικά του κόμβου καθώς και στο κάτω μέρος του αισθητήρες απόστασης έτσι ώστε να υπάρχει σωστή πληροφόρηση του μικροελεγκτή για αποφυγή δυσάρεστων πτώσεων ή συγκρούσεων με το έδαφος και αντικείμενα αντίστοιχα.

7.3.5 Αισθητήρες εύρεσης θέσης GPS¹⁰

Ένα από τα μειονεκτήματα του κάθε κόμβου στην τρέχουσα εργασία είναι ότι είναι δύσκολη η ακριβή εντόπιση του κάθε κόμβου σε σχέση με το περιβάλλον καθώς και ο εντοπισμός ενός άλλου κόμβου από τον πρώτο με μεγάλη ακρίβεια.

Αυτό το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με την προσθήκη ενός δέκτη GPS σε κάθε έναν από τους κόμβους χρησιμοποιώντας και μία εξωτερική κεραία για καλύτερο και γρηγορότερο κλείδωμα του δέκτη με τους δορυφόρους του συστήματος. Η ακρίβεια που προσφέρει το GPS είναι περίπου πέντε μέτρα η οποία είναι υπέρ αρκετή ώστε να οδηγήσει τον ένα κόμβο αρκετά κοντά στον κόμβο που αντιμετωπίζει πρόβλημα και τότε να γίνει ακριβείς εντοπισμός του άλλου κόμβου μέσω υπέρυθρων αισθητήρων.

Ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί πρώτα είναι η αντικατάσταση του μικροελεγκτή με κάποιον άλλον με περισσότερες εισόδους ή η αποδοτικότερη διαχείριση των ήδη υπάρχοντων εισόδων είτε μέσω πολυπλεξίας των σημάτων κάποιων από τους αισθητήρες είτε με άλλες μεθόδους. Πρέπει επίσης να υπολογιστεί κατά πόσο θα αυξηθεί η κατανάλωση ρεύματος στον κόμβο και να γίνουν οι κατάλληλες ρυθμίσεις στο πρόγραμμα του κόμβου έτσι ώστε να χρησιμοποιείτε ο δέκτης GPS μόνο όταν χρειάζεται και να τίθεται σε λειτουργία αδράνειας όταν πχ η απόσταση που πρέπει να διανυθεί είναι 100 μέτρα βόρεια και δεν χρειάζεται κάθε μερικά δευτερόλεπτα το στίγμα του κόμβου.

Βέβαια όλα αυτά ισχύουν όταν οι κόμβοι βρίσκονται σε εξωτερικό χώρο που υπάρχει οπτική επαφή του δέκτη GPS με τον ουρανό έτσι ώστε να μπορεί να δοθεί στίγμα με ακρίβεια μέσω του συστήματος. Σε εσωτερικό χώρο η απόδοση θα ήταν

¹⁰GPS: Global Positioning System

χαμηλή έως μηδενική όπου σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να αναζητηθούν εναλλακτικές μεθόδους εύρεσης του στίγματος του κόμβου.

Τέλος, η χρήση αυτού του δέκτη είναι ζωτικής σημασίας εάν ο κόμβος αιωρείται στον αέρα και μπορεί να διανύει μεγάλες αποστάσεις (>100m), γιατί μόλις ανιχνευτεί πρόβλημα σε κάποιον κόμβο, οι άλλοι κόμβοι μπορούν να πετάξουν προς αυτόν με απόλυτη ακρίβεια.

7.3.6 Δημιουργία αρχείου (log) των δεδομένων των αισθητήρων

Μία ακόμα μελλοντική εξέλιξη της εργασίας θα μπορούσε να είναι η προσθήκη μίας μνήμης EEPROM¹¹ σε κάθε κόμβο μαζί με ένα ρολόι RTC¹² με τα οποία θα μπορούσε ο κάθε κόμβος να αποθηκεύει ένα ιστορικό όλων των τιμών όλων των αισθητήρων στην μνήμη του. Έτσι θα μπορούσαμε να έχουμε αναλυτική κατάσταση όλων των συνθηκών που θα επικρατούσαν οποιαδήποτε στιγμή εμείς επιθυμούμε να ανατρέξουμε στη μνήμη του κόμβου.

Μία μνήμη EEPROM μεγέθους 512KB θα είναι αρκετή για να αποθηκεύσει αρκετές γραμμές με τις τιμές των αισθητήρων καθώς και την ώρα και την ημερομηνία στην οποία έγινε λήψη των συγκεκριμένων τιμών. Με τις απαραίτητες αλλαγές στο πηγαίο κώδικα θα μπορούσε να γίνεται αυτόματη ασύρματη μετάδοση όλων των αποθηκευμένων τιμών σε έναν εξυπηρετητή και μετά να γινόταν διαγραφή της μνήμης έτσι ώστε να μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ξανά από την αρχή.

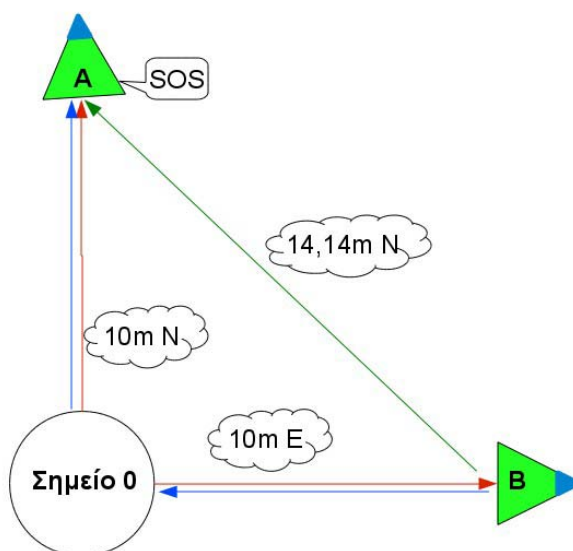
Τέλος θα μπορούσε ακόμα σε αυτή την μνήμη να υπάρχουν αποθηκευμένα κάποια διαφορετικά προφίλ αντίδρασης του κόμβου σε διάφορες καταστάσεις που θα προέκυπταν από της διάφορες τιμές των αισθητήρων ή διάφορα μοτίβα κίνησης για την πλοήγηση του κόμβου στον χώρο.

¹¹EEPROM: Electronic Erasable Programmable Read Only Memory

¹² RTC: Real Time Clock

7.3.7 Θέματα εντοπισμού πομποδεκτών σε Wireless Sensor Network

Χρήσιμο θα ήταν να υπάρχει η δυνατότητα ο κόμβος που έχει πρόβλημα να μπορεί να αποστείλει την θέση του, αλλά σε εσωτερικούς χώρους δεν είναι δυνατή η χρήση του GPS. Οπότε σε περίπτωση κινδύνου ο κόμβος θα μπορεί να μεταδίδει την πορεία που ακολούθησε από το σημείο 0, και οι υπόλοιποι κόμβοι μέσω μίας γεωμετρικής προσέγγισης να μπορούν να βρουν την βέλτιστη διαδρομή για να εντοπίσουν και να προσεγγίσουν τον κόμβο, όπως φαίνεται και στην εικόνα στα δεξιά. Έτσι μόλις ο κόμβος B πλησιάσει κοντά στον κόμβο A και μέσω κάποιων αισθητήρων υπέρυθρου φωτός θα μπορεί να γίνει απόλυτος και ακριβής εντοπισμός του κόμβου A. Μπορεί οι κόμβοι να ξεκινήσει και από άλλο αρχικό σημείο, (όχι το σημείο 0) και το μόνο που χρειάζεται είναι να είναι γνωστή η σχετική θέση ανάμεσα σε αυτά τα δύο αρχικά σημεία.



Εικόνα 50: Παράδειγμα εντοπισμού κόμβου μέσω μετάδοσης των κινήσεων του.

7.3.8 Συνεργατικές τεχνικές αντιμετώπισης κρίσεων

Μέσω της υλοποίησης της προηγούμενης πρότασης, θα μπορεί να γίνει χρήση της εφαρμογής σε διάφορες τοποθεσίες και να γίνεται αντιμετώπιση μίας κρίσης. Όταν κάποιος από τους κόμβους λαμβάνει τιμές πέραν των επιτρεπτών ορίων στα αισθητήρια του, θα μπορούν οι υπόλοιποι κόμβοι να σπεύδουν σε εκείνο το σημείο με ακρίβεια. Ακόμα αν πχ σε μία ομάδα δέκα κόμβων, ο ένας κόμβος διαθέτει κάμερα, ο άλλος κόμβος διαθέτει κάποιο άλλο όργανο/αισθητήριο κτλ, θα μπορεί με μικρότερο κόστος και μέσω της συνεργατικής συμπεριφοράς των κόμβων να γίνεται αποτελεσματικότερη και ταχύτερη αντιμετώπιση της οποιαδήποτε κρίσης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Παρακάτω βρίσκεται κατάλογος με τη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε προκειμένου να εκπονηθεί αυτή η διπλωματική εργασία.

Άρθρα σε περιοδικά

Cherry, Steven. (2006). Wi-Fi Nodes to Talk Amongst Themselves. IEEE Spectrum. Τεύχος: 07/2007.

Adee, Sally (2010). Wireless Sensors that live for ever. IEEE Spectrum. Τεύχος: 02/2010.

Βιβλία

John G. Webster (1999), The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook (Electrical Engineering Handbook), Springer

Chang, Kai (2000). RF Microwave Wireless Systems, Wiley-Interscience.

Holger Karl, Andreas Willig (2007), Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Wiley-Interscience

Κεφάλαια σε βιβλία

Fred Eady (2007). Hands-on ZigBee, Implementing 802.15.4 with Microcontrollers. Κεφάλαιο: MaxStream/XBee, σελίδες 131-152, Newnes.

Ιστοσελίδες

Arduino Pro Mini. Διαθέσιμο:

<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>. Τελευταία επίσκεψη: 20/08/2010.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΩΔΙΚΑΣ

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα	Σελίδα
Εικόνα 1: Ένα RF module με εμβέλεια 75 μέτρα.....	9
Εικόνα 2: Το λογότυπο των δικτύων Wi-Fi.....	10
Εικόνα 3: Το επίσημο λογότυπο για τις συσκευές με Bluetooth.....	11
Εικόνα 4: Ένα Xbee PRO με εμβέλεια που φτάνει το 1,5 χιλιόμετρο.....	12
Εικόνα 5: Οι δύο άξονες στους οποίους γίνεται μέτρηση.....	14
Εικόνα 6: Το εσωτερικό ενός αισθητήρα επιτάχυνσης.....	15
Εικόνα 7: Το ηλεκτρονικό σύμβολο των φωτοαντιστάσεων.....	15
Εικόνα 8: Αρχή λειτουργίας του αισθητήρα υπερήχων.....	16
Εικόνα 9: Αρχή λειτουργίας μαγνητικών αισθητήρων (πυξίδες).....	17
Εικόνα 10: Παράδειγμα τοποθετημένου στον χώρο στατικού κόμβου.....	18
Εικόνα 11: Ένας κινούμενος κόμβος με μερικά αισθητήρια πάνω του.....	19
Εικόνα 12: Αιωρούμενος κόμβος με τέσσερις έλικες.....	20
Εικόνα 13: Το kit της Parallax που θα χρησιμοποιηθεί ως κόμβος.....	21
Εικόνα 14: Το ασύρματο module Xbee Series One από την MaxStream.....	22
Εικόνα 15: Το Arduino Pro Mini με τον Atmega328 ενσωματωμένο.....	24
Εικόνα 16: Κλασικός σερβομηχανισμός.....	26
Εικόνα 17: Σερβομηχανισμός συνεχούς κίνησης.....	26
Εικόνα 18: Ο αναλογικός αισθητήρας θερμοκρασίας TMP36.....	27
Εικόνα 19: Ο αισθητήρας επιτάχυνσης της Memsic 2125.....	28
Εικόνα 20: Η πυξίδα HM55B της Hitachi.....	29
Εικόνα 21: Ο αισθητήρας υπερήχων (PING))) που μετράει απόσταση.....	29
Εικόνα 22: Σταθεροποιητής τάσης της οικογένειας 78LXX.....	30
Εικόνα 23: Ένας τυπικός ηλεκτρολυτικός πυκνωτής.....	31
Εικόνα 24: Μετατροπέας από USB σε Serial.....	32
Εικόνα 25: Τυπωμένο κύκλωμα σύνδεση του module με το PC.....	33
Εικόνα 26: Διάγραμμα ροής του κορμού του προγράμματος.....	35
Εικόνα 27: Διάγραμμα ροής αρχικοποίησης του μικροελεγκτή.....	37
Εικόνα 28: Διάγραμμα ροής αρχικής πλοήγησης στον χώρο.....	40
Εικόνα 29: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας πλοήγησης στον χώρο.....	42
Εικόνα 30: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας ανάγνωσης τοπικών αισθητήρων.....	45
Εικόνα 31: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας δημιουργίας του πακέτου.....	48
Εικόνα 32: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας λήψης και αξιολόγησης πακέτων.....	50
Εικόνα 33: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας αντίστροφης πλοήγησης στον χώρο.....	53
Εικόνα 34: Διάγραμμα ροής της διαδικασίας προσανατολισμού.....	56
Εικόνα 35: Το πρόγραμμα X-CTU εμφανίζει τα πακέτα που διακινούνται.....	59
Εικόνα 36: Οι παράμετροι των Xbee χωρίζονται σε επτά κατηγορίες.....	60
Εικόνα 37: Οι παράμετροι της κατηγορίας Networking & Security.....	61
Εικόνα 38: Οι υπόλοιπες παράμετροι των Xbee.....	62
Εικόνα 39: Ο χώρος που θα ξεκινήσουν και θα κινηθούν οι κόμβοι.....	63
Εικόνα 40: Η πρώτη κίνηση των κόμβων από το σημείο 0.....	64
Εικόνα 41: Δύο κόμβοι αναγκάζονται να αλλάξουν κατεύθυνση.....	64

Εικόνα 42: Αλλαγή κατεύθυνσης για τους δύο κόμβους.....	65
Εικόνα 43: Αλλαγή πορείας και για τους τρεις κόμβους.....	65
Εικόνα 44: Η πλοήγηση οδώνει προς το τέλος της.....	66
Εικόνα 45: Στάθμευση των κόμβων και έναρξης ελέγχου αισθητήρων.....	66
Εικόνα 46: Αποστολή μηνύματος κινδύνου από έναν κόμβο.....	67
Εικόνα 47: Με την λήψη του μηνύματος κινδύνου οι κόμβοι επιστρέφουν.....	67
Εικόνα 48: Οι τρεις κόμβοι στον πάγκο του εργαστηρίου.....	69
Εικόνα 49: Ο κόμβος από πλάγια, διακρίνεται το ασύρματο module.....	69
Εικόνα 50: Παράδειγμα εντοπισμού κόμβου μέσω μετάδοσης των κινήσεων του.....	79

DATASHEETS