



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

**Σχεδιασμός και προγραμματισμός πρωτότυπης
ρομποτικής βάσης για τη μεταφορά αποσκευών**

Επιμέλεια: Ψωματάκης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής: Τσουρβελούδης Νικόλαος

Χανιά, 2016

Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης, Νικόλαο Τσουρβελούδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να υλοποιήσω τη παρούσα διπλωματική, όπως και για τη βοήθεια που μου έδινε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα του Τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης Σάββα Πιπερίδη για την υποστήριξη, τη βοήθεια, τις συμβουλές, αλλά και το χρόνο που αφιέρωσε για τη παρούσα διπλωματική, όπως και τον, Δρ. Πολυχρόνη Σπανουδάκη για την βοήθεια του κατά την διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αναπληρωτή καθηγητή, του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Άγγελο Μπλέτσας για τη βοήθεια, τις προτάσεις και τη καθοδήγηση του σε ότι αφορούσε τούς ενσωματωμένους πομποδέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα διπλωματική.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου, όπως και τους φίλους και συναδέλφους μου Μαρεντάκη Γεώργιο και Κουτσούπη Αλέξανδρο για όλη τη βοήθεια που μου έδωσαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	6
Abstract	6
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	7
1.1 Τι είναι ρομπότ.....	7
1.2 Κατηγοριοποίηση των ρομπότ.....	7
Κεφάλαιο 2: Περιγραφή της ιδέας.....	12
2.1 Σκοπός έρευνας.....	12
2.2 Προτεινόμενος τρόπος λειτουργίας.....	12
2.3 Κίνητρο χρήσης της βάσης μεταφοράς.....	12
2.4 Στόχος της διπλωματικής	13
Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο	14
3.1 Εισαγωγή	14
3.2 Διαφορική οδήγηση	14
3.2.1 Κινηματικό μοντέλο διαφορικής οδήγησης.....	16
3.2.2 Οδομετρία οχήματος διαφορικής οδήγησης.....	19
3.3 Παγκόσμιο σύστημα στιγματοθέτησης (GPS).....	20
3.4 Ένδειξη έντασης λαμβανόμενου σήματος (RSSI).....	21
3.5 Αισθητήρες υπερήχων.....	21
Κεφάλαιο 4: Ενσωματωμένοι πομποδέκτες	23
4.1 Εισαγωγή	23
4.2 Περιγραφή εξοπλισμού.....	23
Κεφάλαιο 5: Προσεγγιστικές μέθοδοι για την εύρεση της θέσης του χρήστη.....	24
5.1 Εισαγωγή	24
5.2 Μέθοδοι βασισμένοι στη μέτρηση της απόστασης (laternation)	24
5.2.1 Time of arrival.....	24
5.2.2 Time Difference of Arrival (TDoA)	26
5.2.3 Received signal strength (RSS)	27
5.3 Μέθοδοι βασισμένοι στη μέτρηση της γωνίας (Angulation).....	28
5.3.1 Angle of arrival (AoA)	28
Κεφάλαιο 6: Προτεινόμενοι τρόποι παρακολούθησης αντικειμένου σε εσωτερικούς χώρους	30
6.1 Εισαγωγή	30
6.2 Πρώτη κατηγορία (RSSI)	30

6.3 Δεύτερη κατηγορία (Αισθητήρες υπερήχων).....	31
6.3.1 Εναλλακτική πρώτη: Κινητήρας servo και αισθητήρας απόστασης	31
6.3.2 Εναλλακτική δεύτερη: Αισθητήρες υπερήχων περιμετρικά του οχήματος.....	32
6.3.3 Εναλλακτική τρίτη: Αισθητήρες υπερήχων ως δέκτες	32
6.4 Τρίτη κατηγορία (Επιταχυνσιόμετρο – γυροσκόπιο)	33
6.5 Τέταρτη κατηγορία (Κάμερα).....	33
6.6 Περιορισμοί και επιλογή μεθόδου	34
Κεφάλαιο 7: Περιγραφή προκαταρκτικών πειραμάτων για τη σωστή λειτουργία των πομποδεκτών	36
Κεφάλαιο 8: Εγκατάσταση εξοπλισμού στο reDevil	38
Κεφάλαιο 9: Περιγραφή πειραμάτων για την προσομοίωση της κίνησης του χρήστη και προτάσεις βελτίωσης του αποτελέσματος	41
9.1 Εισαγωγή	41
9.2 Πείραμα πρώτο: Απομάκρυνση χρήστη από τη βάση	42
9.3 Πείραμα δεύτερο: Κίνηση του χρήστη προς τα δεξιά.....	44
9.4 Πείραμα τρίτο: Κίνηση του χρήστη προς τα αριστερά	46
9.5 Σύνοψη συμπερασμάτων	48
9.6 Αποτελέσματα	49
Κεφάλαιο 10: Περιγραφή του κώδικα λειτουργίας του reDevil	50
10.1 Εισαγωγή	50
10.2 Απαιτήσεις και περιορισμοί.....	50
10.3 Διαγράμματα ροής και επεξήγηση του κώδικα λειτουργίας της βάσης	51
10.3.1 Συνοπτικό διάγραμμα ροής του κώδικα	51
10.3.2 Περιγραφή γενικού διαγράμματος ροής	51
10.4 Πρόταση βελτίωσης των αποτελεσμάτων με αισθητήρες υπερήχων	56
10.5 Αντικατάσταση πομποδεκτών με κινητό τηλέφωνο	56
Κεφάλαιο 11: Τρισδιάστατη εκτύπωση βάσεων για τους δέκτες.....	58
11.1 Εισαγωγή	58
11.2 Μέθοδοι ταχείας πρωτοτυποποίησης	58
11.3 Από το τρισδιάστατο μοντέλο στον εκτυπωτή	60
11.4 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης	60
11.5 Εκτύπωση βάσεων	61
11.6 Προβλήματα κατά την εκτύπωση	65
Κεφάλαιο 12: Μελέτη και σχεδίαση τρισδιάστατου μοντέλου της βάσης μεταφοράς	69

12.1 Εισαγωγή	69
12.2 Παρουσίαση της συνολικής εικόνας της βάσης μεταφοράς	69
12.3 Ανάλυση του σχεδιασμού της βάσης μεταφοράς	71
12.4 Άλλες εφαρμογές της βάσης μεταφοράς.....	82
12.5 Παρόμοιες ιδέες που έχουν υλοποιηθεί	82
Κεφάλαιο 13: Συμπεράσματα	84
13.1 Σχολιασμός και αποτελέσματα πειραμάτων	84
13.2 Προτάσεις για περεταίρω έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθόδου και τρόποι βελτίωσης	84
Κεφάλαιο 14: Βιβλιογραφία.....	86

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη και ο προγραμματισμός μιας πρωτότυπης ρομποτικής βάσης μεταφοράς αποσκευών που θα μπορεί να ακολουθεί τον επιβάτη σε περιοχές που είναι αδύνατη η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης. Ειδικότερα, θα μελετηθεί και θα προγραμματιστεί ο τρόπος αλληλεπίδρασης της βάσης και του χρήστη της σε εσωτερικό αλλά και εξωτερικό περιβάλλον. Ως βάση μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το ρομποτικό όχημα reDevil του εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής της σχολής ΜΠΔ του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εργασία **περιλαμβάνει** την παρουσίαση εναλλακτικών λύσεων, τη λεπτομερή περιγραφή, υλοποίηση και δοκιμή της προτεινόμενης λύσης με τη βοήθεια του reDevil. Τέλος, η εργασία **περιλαμβάνει** τη μελέτη και σχεδίαση μιας πρωτότυπης βάσης για τη μεταφορά των αποσκευών ενός ταξιδιώτη σε χώρους όπως αεροδρόμια και άλλοι σταθμοί μέσων μαζικής μεταφοράς.

Abstract

The aim of this diploma thesis is the study and the programming of a prototype robotic base that follows a passenger and carries his baggage in areas that is impossible to use global positioning system (G.P.S). Specifically, it studied and programmed the interaction of the passenger and the robotic base at internal and external environment. As a transfer base it used the robotic vehicle reDevil of the Laboratory of Intelligent Systems and Robotics of the Production Engineer and Management faculty of the Technical University of Crete. The task **involves** the detailed description, implementation and testing of the proposed solution with the help of reDevil. Finally, the task **involves** the study and the design of the transfer base for transporting the luggage of a traveler in places such as airports and other public transport stations.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Τι είναι ρομπότ

Ρομπότ είναι μια συσκευή που λειτουργεί με αυτοματισμό ή τηλεχειρισμό και υποκαθιστά τον άνθρωπο σε διάφορες εργασίες (βιομηχανικές, επιστημονικές, κοπιαστικές, επικίνδυνες κ.λπ.). Η λέξη επινοήθηκε από τον Τσέχο συγγραφέα και ζωγράφο Josef Čapek και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον αδελφό του Karel Čapek, συγγραφέα επίσης, στο θεατρικό έργο του Rossum's Universal Robots [1]. Πρωτοποριακά εργοστάσια ως προς την ευρύτατη χρήση ρομπότ θεωρούνται το εργοστάσιο της General Motors στο Hamtramck, το Buick City στο Flint του Michigan, το εργοστάσιο της IBM στο Lexington κ.ά. [2].

1.2 Κατηγοριοποίηση των ρομπότ

Υπάρχουν ποικίλα κριτήρια διάκρισης και αντίστοιχες κατηγοριοποιήσεις των ρομπότ. Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με την αυτονομία τους, ανάλογα με το χώρο που λειτουργούν και με τη δυνατότητα κίνησης τους στο χώρο. Έτσι μπορούμε να τα χωρίσουμε στις εξής κατηγορίες:

Με βάση την αυτονομία τους, τα ρομπότ χωρίζονται σε:

- Τηλεχειριζόμενο ρομπότ:

Στη συγκεκριμένη περίπτωση η εργασία ελέγχεται από άνθρωπο με τη βοήθεια κατάλληλου περιβάλλοντος διεπαφής και ενδείξεων αισθητήρων.



Εικόνα 1.1: Τηλεχειριζόμενο ιατρικό ρομπότ

- Προγραμματιζόμενο ρομπότ:

Το ρομπότ ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει από τους αισθητήρες με τους οποίους είναι εφοδιασμένο, εκτελεί εντολές που υπάρχουν καταχωρημένες σε μια μονάδα μνήμης.



Εικόνα 1.2: Προγραμματιζόμενο οικιακό ρομπότ σκούπα

- Ευφυή ρομπότ:

Λόγω της εξελιγμένης κατασκευής του ρομπότ, η οποία αφορά τους αισθητήρες, το λογισμικό, αλλά και την υλική δομή του μπορεί να αντιδρά σε απρόβλεπτες αλλαγές που συμβαίνουν στο περιβάλλον του. Μπορεί να λειτουργεί ορθώς τόσο σε δομημένο όσο και σε δυναμικό περιβάλλον. Τα ευφυή ρομποτικά οχήματα που μπορούν να κινούνται ελεύθερα, χωρίς περιοριστικούς δεσμούς με άλλες συσκευές, όπως για παράδειγμα τη χρήση καλωδίων για τροφοδοσία ή επικοινωνία, ονομάζονται και Αυτόνομα Ρομποτικά Οχήματα.

Με βάση το χώρο που λειτουργούν μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- Ρομπότ εξωτερικού χώρου



Εικόνα 1.3: Ευφυές ρομπότ παντός εδάφους για στρατιωτική χρήση

Τα ρομπότ εξωτερικού χώρου μπορούν να λειτουργήσουν και να εκτελέσουν εντολές σε διάφορα είδη εδάφους και είναι ανθεκτικά στις συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.4: Ρομποτικό όχημα εξωτερικού χώρου

- Ρομπότ εσωτερικού χώρου



Εικόνα 1.5: Ρομπότ εσωτερικού χώρου της LEGO

Τα ρομπότ εσωτερικού χώρου είναι κατά κανόνα, μικρότερα σε μέγεθος από τα προηγούμενα και είναι κατασκευασμένα για χρήση κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες, σε προφυλαγμένο χώρο συγκεκριμένων προδιαγραφών (δάπεδο, φωτισμός). Επίσης, χρησιμοποιούνται συχνά σε εργαστηριακές δοκιμές λόγω του μικρότερου κόστους τους σε σχέση με τα αντίστοιχα εξωτερικού χώρου.

Με βάση τη δυνατότητα κίνησης τους στο χώρο διαχωρίζονται σε:

- Ρομποτικός Χειριστής - Robotic Manipulator:

Τηλεχειριζόμενο ή προγραμματιζόμενο ή ευφυές ηλεκτρομηχανικό σύστημα κατάλληλο για εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών. Έχει τη δυνατότητα να κινεί τα μέρη από τα οποία αποτελείται αλλά είναι πάντα πακτωμένο σε ένα σταθερό σημείο.



Εικόνα 1.6: Ρομποτικός χειριστής

- Ρομποτικό Όχημα - Robotic Vehicle:

Τηλεχειριζόμενο ή προγραμματιζόμενο ή ευφυές ηλεκτρομηχανικό σύστημα που μετακινείται επί τροχών και μπορεί να εκτελέσει συγκεκριμένα καθήκοντα.



Εικόνα 1.7: Ρομποτικό όχημα

Τα ρομπότ συγκροτούνται από δύο συστήματα, το μηχανικό (στο οποίο περιλαμβάνεται το σύστημα κίνησης) και το ηλεκτρονικό (στο οποίο υπάγεται και η επαναπρογραμματιζόμενη μνήμη του) [2]. Τα δομικά χαρακτηριστικά όλων των ρομπότ είναι συγκεκριμένα και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες. Τους **αισθητήρες**, που παρέχουν στο ρομπότ τις πληροφορίες που λαμβάνει από το περιβάλλον του, **τους ενεργοποιητές**, όπου δίνουν τη δυνατότητα κίνησης στο ρομπότ, αλλά και των μελών του ξεχωριστά και **τον ελεγκτή**, όπου λαμβάνει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και μέσω προγράμματος που διαθέτει στέλνει εντολές στους ενεργοποιητές για να εκτελέσουν τις απαραίτητες ενέργειες [3].

Κεφάλαιο 2: Περιγραφή της ιδέας

2.1 Σκοπός έρευνας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας, είναι η μελέτη και ο προγραμματισμός μιας πρωτότυπης ρομποτικής βάσης μεταφοράς αποσκευών που θα μπορεί να ακολουθεί τον επιβάτη σε περιοχές που είναι αδύνατη η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης. Ειδικότερα, θα μελετηθεί και θα προγραμματιστεί ο τρόπος αλληλεπίδρασης της βάσης και του χρήστη της σε εσωτερικό αλλά και εξωτερικό περιβάλλον. Ως βάση μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το ρομποτικό όχημα reDevil του εργαστηρίου Ευφυών Συστημάτων και Ρομποτικής της σχολής ΜΠΔ του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η εργασία περιλαμβάνει την παρουσίαση εναλλακτικών λύσεων, τη λεπτομερή περιγραφή, υλοποίηση και δοκιμή της προτεινόμενης λύσης με τη βοήθεια του reDevil. Τέλος, η εργασία περιλαμβάνει τη μελέτη και σχεδίαση μιας πρωτότυπης βάσης για τη μεταφορά των αποσκευών ενός ταξιδιώτη σε χώρους όπως αεροδρόμια και άλλοι σταθμοί μέσων μαζικής μεταφοράς.

2.2 Προτεινόμενος τρόπος λειτουργίας

Ο τρόπος λειτουργίας της βάσης μεταφοράς μελετήθηκε έτσι, ώστε να είναι όσο πιο ευέλικτος και απλός γίνεται για το χρήστη.

Το θέμα της απλότητας έγκειται στο γεγονός της πολύ απλής διαδικασίας για τη χρήση της βάσης, η οποία αποτελείται από δύο απλά βήματα. Αρχικά πραγματοποιείται η λήψη της κατάλληλης εφαρμογής για το κινητό, από τον επιβάτη και τέλος κατοχυρώνεται η θέση αναφοράς του, δηλαδή η θέση στην οποία επιθυμεί να τον ακολουθεί η βάση μεταφοράς.

Το θέμα της ευελιξίας συνίσταται στο γεγονός, ότι ο εκάστοτε χρήστης θα έχει τη δυνατότητα να ορίζει την δική του θέση αναφοράς μέσω του κινητού του. Η βάση μεταφοράς έχει τη δυνατότητα να ακολουθεί το χρήστη μέσω της έντασης του σήματος που λαμβάνει από την κεραία του κινητού του. Κάθε κινητό όμως, έχει διαφορετική κεραία με αποτέλεσμα οι μετρήσεις που λαμβάνουν οι δέκτες του οχήματος να είναι διαφορετικές για διαφορετικά κινητά. Αντί λοιπόν να χρειάζεται ο χρήστης να ρυθμίζει διάφορους παραμέτρους της κεραίας του, απλά ορίζει τη δική του θέση αναφοράς και όλα τα υπόλοιπα γίνονται αυτοματοποιημένα από το πρόγραμμα.

2.3 Κίνητρο χρήσης της βάσης μεταφοράς

Η χρήση της βάσης μεταφοράς μελετήθηκε για την τοποθέτηση της στα αεροδρόμια ως υπηρεσία για τους επιβάτες πριν και μετά την πτήση. Σύμφωνα με τη παραπάνω μελέτη, κάθε επιβάτης θα έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιήσει την βάση, δεδομένου ότι έχει εγγραφεί σε μια βάση δεδομένων μέσω της εφαρμογής που έχει εγκαταστήσει και δεδομένου βέβαια ότι πρόκειται να ταξιδέψει εντός των επόμενων ωρών. Επομένως κάθε επιβάτης μπορεί να συνδεθεί και να χρησιμοποιήσει τη βάση μεταφοράς μέσω της εφαρμογής και του κωδικού του εισιτηρίου του. Απευθύνεται κυρίως σε άτομα που έχουν προβλήματα κινητικότητας, είτε λόγω ηλικίας είτε λόγω αναπηρίας. Επίσης, προβλέπεται η χρήση της συγκεκριμένης βάσης μεταφοράς, από τον οποιονδήποτε για μια πιο ξεκούραστη

διαδρομή στο αεροδρόμιο όταν οι βαλίτσες είναι πολλές, αρκετά βαριές ή ακόμα, όταν οι διαδρομές στο εσωτερικό του αεροδρόμιου είναι μεγάλες.

2.4 Στόχος της διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική θα μελετήσει τους τρόπους αλληλεπίδρασης της βάσης και του χρήστη, με ιδιαίτερη έμφαση στον τρόπο με τον οποίο θα ακολουθεί η βάση το χρήστη. Παρουσιάζει τα προβλήματα που προκύπτουν, προτείνει μια σειρά από λύσεις για την υλοποίηση της αλληλεπίδρασης τους, μελετάει πειραματικά την αποτελεσματικότητα της λύσης που θα επιλεγεί και τέλος παρουσιάζει ένα τρισδιάστατο μοντέλο που απεικονίζει την βάση μεταφοράς, όπως αυτή αναμένεται να κατασκευαστεί στο μέλλον.

Κεφάλαιο 3: Θεωρητικό υπόβαθρο

3.1 Εισαγωγή

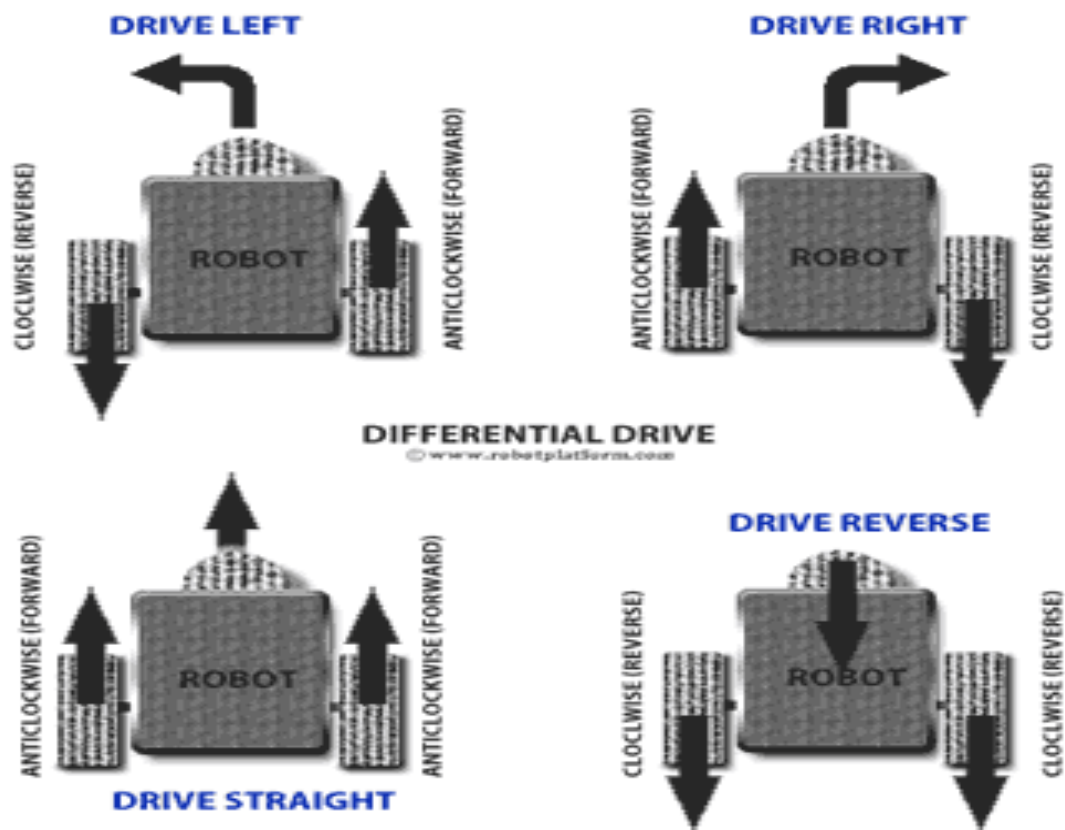
Σε αυτό το κεφάλαιο θα εισάγουμε μερικές βασικές έννοιες που είναι απαραίτητες για την κατανόηση του τρόπου οδήγησης της βάσης μεταφοράς αλλά και του τρόπου επίτευξης του εντοπισμού της θέσης του χρήστη από τη βάση. Αρχικά εισάγεται η έννοια της διαφορικής οδήγησης και έπειτα οι βασικές γνώσεις και τα προβλήματα που προκύπτουν για την επίτευξη της ανίχνευσης του χρήστη σε εσωτερικό χώρο.

3.2 Διαφορική οδήγηση

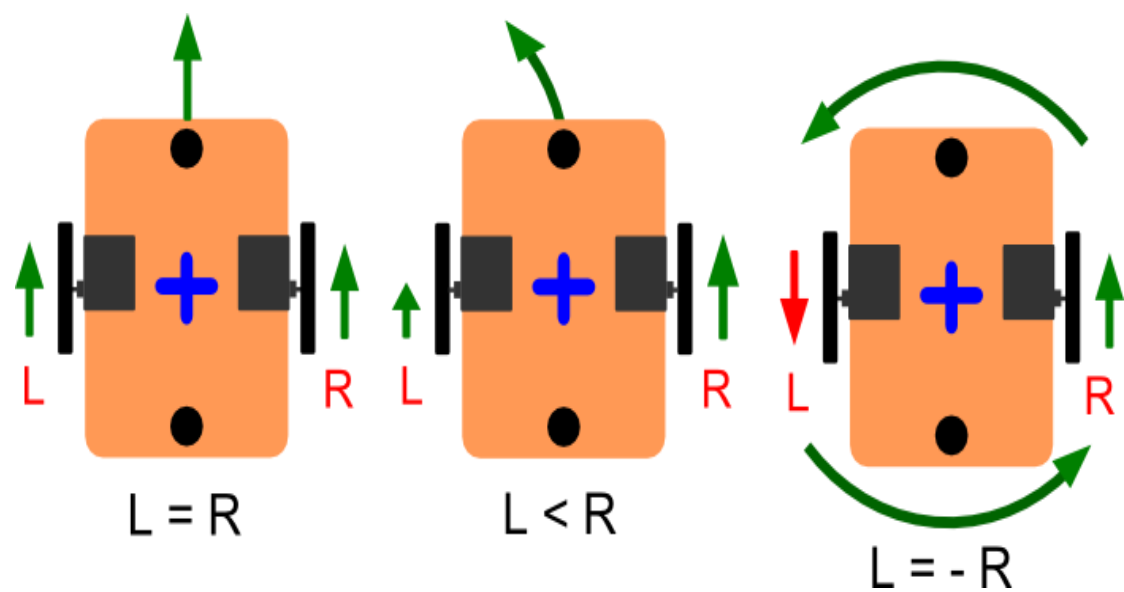
Η κίνηση σε ένα ρομπότ μπορεί να επιτυγχάνεται μέσω διάφορων τρόπων, όπως πόδια, φτερά, πτερύγια, κ.τ.λ. Ο συχνότερος τρόπος κίνησης ενός ρομπότ είναι οι τροχοί, μιας και προσφέρουν ευκολία στο χειρισμό τους αλλά και απλότητα στη συνολική κατασκευή του. Για να κινηθεί ένα ρομπότ με τροχούς είτε θα έχει ταυτόχρονη κίνηση και των δυο τροχών είτε θα μπορεί να κινεί ανεξάρτητα τον καθένα. Στην πρώτη περίπτωση χρειάζεται ένα επιπλέον σύστημα για τη στρέψη των τροχών, δηλαδή την αλλαγή της κατεύθυνσης του οχήματος, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η αλλαγή της κατεύθυνσης επιτυγχάνεται με αυξομείωση της ταχύτητας ή αλλαγή της κατεύθυνσης περιστροφής των τροχών.

Η δεύτερη περίπτωση ονομάζεται *διαφορική οδήγηση* (differential drive) και χαρακτηρίζεται από την ανεξάρτητη κίνηση των δυο τροχών που όμως έχουν κοινό και σταθερό άξονα περιστροφής. Για να κινηθεί το όχημα ευθεία, θα πρέπει να περιστραφούν και οι δύο τροχοί του με την ίδια ταχύτητα. Για να στρίψει δεξιά θα πρέπει να περιστραφεί ο αριστερός τροχός με μεγαλύτερη ταχύτητα από τον δεξιό. Για να στρίψει ακαριαία δεξιά θα πρέπει ο δεξιός τροχός να περιστραφεί προς τα πίσω και ο αριστερός προς τα εμπρός. Παρακάτω παρουσιάζονται σχηματικά ο τρόπος κατεύθυνσης ενός ρομπότ με διαφορική κίνηση.

Στην εικόνα 3.1, μπορούμε να δούμε πάνω δεξιά την επιτόπια δεξιά στροφή, πάνω αριστερά την επιτόπια αριστερή στροφή, κάτω δεξιά την κίνηση ευθεία προς τα πίσω, και κάτω αριστερά την κίνηση ευθεία μπροστά. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως υπάρχει η δυνατότητα να επιτύχουμε δεξιά ή αριστερή στροφή επιταχύνοντας ή επιβραδύνοντας έναν από τους δυο τροχούς. Στην εικόνα 3.2, μπορούμε να δούμε αριστερή στροφή με επιβράδυνση του αριστερού τροχού ή επιτάχυνση του δεξιού τροχού. Και στα δυο σχήματα τα βέλη πάνω στους τροχούς αντιπροσωπεύουν την ταχύτητα και την φορά περιστροφής της συγκεκριμένης ρόδας, ενώ τα βέλη μπροστά ή πίσω από το όχημα αντιπροσωπεύουν την τελική κίνηση του οχήματος δεδομένης της εφαρμογής των συγκεκριμένων ταχυτήτων και περιστροφών στους τροχούς.



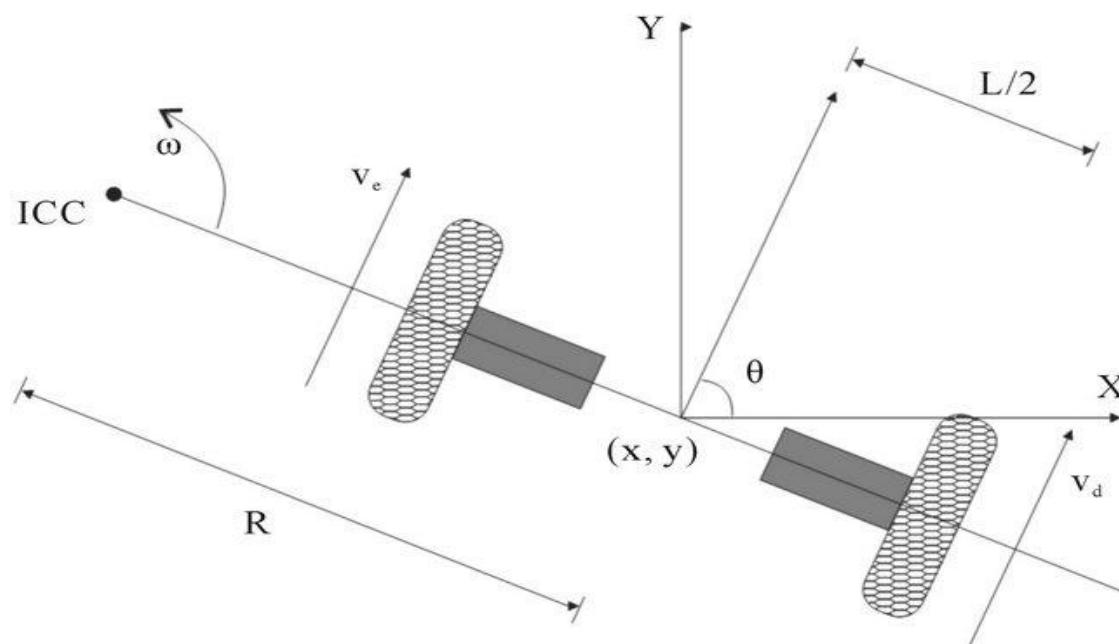
Εικόνα 3.1 Επίτευξη κινήσεων με διαφορικό μοντέλο οδήγησης



Εικόνα 3.2 Επίτευξη κινήσεων με διαφορικό μοντέλο οδήγησης

3.2.1 Κινηματικό μοντέλο διαφορικής οδήγησης

Τα οχήματα διαφορικής οδήγησης έχουν δυο βαθμούς ελευθερίας μιας και η κίνηση τους γίνεται μόνο στο επίπεδο xy και δεν κατευθύνονται από κάποιο άλλο μηχανισμό. Κάθε στιγμή ορίζεται ένα στιγμιαίο κέντρο στροφής (ICC – Instantaneous Center of Curvature-Στιγμιαίο Κέντρο Στροφής), το οποίο βρίσκεται πάντα στον άξονα των δυο τροχών αλλά όχι απαραίτητα ανάμεσα στους τροχούς [8]. Για παράδειγμα, όταν το όχημα περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του το ICC είναι στη μέση των δυο τροχών, ενώ όταν το όχημα περιστρέφεται γύρω από ένα αντικείμενο το ICC βρίσκεται στο σημείο τομής του άξονα των δυο τροχών και του αντικειμένου γύρω από το οποίο περιστρέφεται. Στο παρακάτω σχήμα μπορούμε να δούμε διάφορες μεταβλητές που θα μας βοηθήσουν να μελετήσουμε την διαφορική οδήγηση.



Εικόνα 3.3: Κινηματικό μοντέλο διαφορικής οδήγησης

Έστω οι παρακάτω μεταβλητές:

ICC: στιγμιαίο κέντρο στροφής του οχήματος.

ω : η γωνιακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται το όχημα γύρω από το ICC.

R : η απόσταση του ICC από το μέσο της απόστασης μεταξύ των δυο τροχών.

L : η απόσταση μεταξύ των δύο τροχών.

V_e, V_d : οι ταχύτητες του αριστερού και δεξιού τροχού αντίστοιχα.

(x, y) : η θέση του ρομπότ στο σύστημα αναφοράς.

θ : η γωνία κατά την οποία έχει στραφεί το όχημα σε σχέση με το σύστημα αναφοράς.

Όταν το όχημα περιστρέφεται γύρω από το ICC τότε και οι δυο τροχοί του οχήματος περιστρέφονται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα ω γύρω από αυτών. Γνωρίζουμε επίσης ότι η

ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη του γινομένου της γωνιακής ταχύτητας και της ακτίνας περιστροφής σύμφωνα με τη σχέση $u = \omega * r$. Έχουμε λοιπόν ότι,

$$\omega * \left(R + \frac{L}{2}\right) = V_d \quad (1)$$

$$\omega * \left(R - \frac{L}{2}\right) = V_e \quad (2)$$

Λύνοντας τις παραπάνω εξισώσεις ως προς ω και ως προς R και εξισώνοντας τις καταλήγουμε στις παρακάτω σχέσεις,

$$R = \frac{L (V_e + V_d)}{2 (V_d - V_e)} \quad (3)$$

$$\omega = \frac{V_d + V_e}{L} \quad (4)$$

Μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις για να κατανοήσουμε καλύτερα τις εξισώσεις που πρόέκυψαν:

1. Αν οι ταχύτητες στου δυο τροχούς είναι ίσες, δηλαδή $V_e = V_d$, τότε το όχημα κινείται προς τα μπροστά. Η απόσταση R είναι άπειρη (περιστρέφεται σε κύκλο με άπειρη ακτίνα), ενώ η γωνιακή ταχύτητα ω είναι μηδενική και συνεπώς δεν έχουμε περιστροφή του οχήματος.
2. Αν οι ταχύτητες είναι ίσες σε μέτρο αλλά αντίθετης φοράς, δηλαδή $V_e = -V_d$, τότε η ακτίνα R μηδενίζεται και συνεπώς το όχημα περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό του.
3. Αν μια ένας από τους δυο τροχούς είναι ακίνητος, δηλαδή $V_e = 0$ ή $V_d = 0$, τότε έχουμε περιστροφή γύρω από τον αριστερό ή δεξιό τροχό αντίστοιχα.

Συνεπώς ελέγχοντας κατάλληλα τις ταχύτητες στου τροχούς του οχήματος μπορούμε να το κατευθύνουμε σε όποια θέση επιθυμούμε [8].

Ευθύ κινηματικό πρόβλημα

Σε αυτή την περίπτωση θα τη θέση και τον προσανατολισμό του οχήματος δεδομένης ακτίνας R και γωνιακής ταχύτητας ω .

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 3 και 4 μπορούμε να βρούμε το ICC σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$ICC = [x - R \sin \theta, y + R \cos \theta] \quad (5)$$

Έστω ότι το όχημα βρίσκεται κάποια χρονική στιγμή t σε ένα σημείο με συντεταγμένες (x,y) και είναι στραμμένο κατά γωνία θ σε σχέση με το σύστημα αναφοράς, τότε τη χρονική στιγμή $t+\delta t$ θα βρίσκεται σε ένα νέο σημείο με συντεταγμένες (x',y') και μια νέα γωνία θ' . Θεωρούμε επίσης ένα διάνυσμα $[x,y,\theta]$, το οποίο δηλώνει την θέση του οχήματος και την κατεύθυνση του. Το νέο σημείο στο οποίο θα βρίσκεται το όχημα μετά από χρόνο δt προκύπτει ως εξής:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega * \delta t) & -\sin(\omega * \delta t) & 0 \\ \sin(\omega * \delta t) & \cos(\omega * \delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ICC_x \\ ICC_y \\ \omega * \delta t \end{bmatrix} \quad (6)$$

Αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα

Σε αυτήν την περίπτωση θα εξετάσουμε τη γωνία με την οποία πρέπει να στραφεί και την ταχύτητα που πρέπει να έχουν οι τροχοί του οχήματος για να φτάσει σε μια δεδομένη θέση (x',y',θ')

Γενικά η κίνηση ενός οχήματος που κινείται με ταχύτητα V υπό γωνία θ μπορεί να περιγραφεί μέσω των παρακάτω σχέσεων:

$$x(t) = \int_0^t V(t) * \cos \theta(t) dt \quad (7)$$

$$y(t) = \int_0^t V(t) * \sin \theta(t) dt \quad (8)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \quad (9)$$

Συγκεκριμένα για τη διαφορική οδήγηση οι παραπάνω εξισώσεις γίνονται :

$$x(t) = \frac{1}{2} \int_0^t (V_e(t) + V_a(t)) * \cos \theta(t) dt \quad (10)$$

$$y(t) = \frac{1}{2} \int_0^t (V_e(t) + V_a(t)) * \sin \theta(t) dt \quad (11)$$

$$\theta(t) = \frac{1}{L} \int_0^t (V_a(t) - V_e(t)) dt \quad (12)$$

Στην περίπτωση της διαφορικής οδήγησης αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα ότι το όχημα είναι μη ολονομικό [8], δηλαδή δε μπορεί να κινηθεί προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Για παράδειγμα, ένα όχημα διαφορικής οδήγησης μπορεί να προχωρήσει ευθεία ή όπισθεν, μπορεί επίσης να προχωρήσει υπό κάποια γωνία μπροστά και όπισθεν, αλλά δε μπορεί να κινηθεί στη διεύθυνση του άξονα των τροχών του. Συνήθως ο τρόπος με τον οποίο φτάνει

ένα όχημα διαφορικής κίνησης το επιθυμητό σημείο, είναι μέσω της επανάληψης δυο κινήσεων, της ευθείας κίνησης και της επιτόπιας στροφής. Έτσι για να φτάσει το όχημα στο επιθυμητό σημείο, προχωράει ευθεία μετά στρίβει επιτόπια, έπειτα ξαναπροχωράει ευθεία κ.τ.λ., έως ότου φτάσει στο επιθυμητό σημείο. Για τις δυο παραπάνω μετακινήσεις μπορεί να βρεθεί η νέα θέση του οχήματος μέσω των παρακάτω εξισώσεων.

1. Κίνηση οχήματος σε ευθεία γραμμή ($V_d = V_e$):

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x + V * \cos(\theta) dt \\ y + V * \sin(\theta) dt \\ \theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

2. Επιτόπια στροφή του οχήματος ($V_d = -V_e$):

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ \theta + 2V/L dt \end{bmatrix} \quad (14)$$

3.2.2 Οδομετρία οχήματος διαφορικής οδήγησης

Υποθέτουμε ότι ο τροχός του οχήματος είναι r_{wheel} και περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω (μετρούμενη σε rad/sec) για χρόνο t . Γνωρίζουμε επίσης ότι η γωνία ενός ακτίνιου ισοδυναμεί με το τόξο το οποίο έχει μήκος ίσο με το μήκος της ακτίνας του κύκλου. Επομένως καταλήγουμε στην παρακάτω σχέση που μας δίνει την απόσταση dx που διανύει ένα τροχός με τις προδιαγραφές που μόλις αναφέρθηκαν [8].

$$dx = \omega * r_{wheel} * t \quad (15)$$

Καταφέραμε με αυτόν τον τρόπο να απαντήσουμε στο ερώτημα «τι γωνιακή ταχύτητα χρειάζεται ο τροχός έτσι ώστε να διανύσει μια απόσταση dx σε δεδομένο χρόνο».

Τώρα θα δούμε πως μπορούμε να υπολογίσουμε τη γωνιακή ταχύτητα των τροχών για να περιστραφεί το όχημα επιτόπια κατά γωνία φ .

Έστω ότι το όχημα έχει άνοιγμα τροχών $D_{vehicle}$ και περίμετρο C . Τότε θα έχουμε ότι,

$$C = \pi * D_{vehicle} \quad (16)$$

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των τριών έχουμε ότι, σε απόσταση C το όχημα διαγράφει ακτίνα 360° άρα για να διαγράψει γωνία φ μοιρών χρειάζεται απόσταση dx .

$$dx = \frac{C * \varphi}{360^\circ} \xrightarrow{(15),(16)} \omega = \frac{\pi * D_{vehicle} * \varphi}{360^\circ * r_{wheel} * t}$$

Άρα δεδομένου χρόνου απόκρισης του οχήματος μπορούμε να βρούμε τη γωνιακή ταχύτητα που απαιτείται για να διαγράψει τόξο γωνιάς φ^1 μέσω του τύπου:

$$\omega = \frac{\pi * D_{vehicle} * \varphi}{360^0 * r_{wheel} * t} \quad (17)$$

3.3 Παγκόσμιο σύστημα στιγματοθέτησης (GPS)

Το GPS (Global Positioning System), Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης, ή Θεσιθεσίας είναι ένα παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης, (στίγματος), ακίνητου ή κινητού χρήστη, το οποίο βασίζεται σε ένα "πλέγμα" εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της Γης, εφοδιασμένων με ειδικές συσκευές εντοπισμού, οι οποίες ονομάζονται "πομποδέκτες GPS". Οι πομποδέκτες αυτοί παρέχουν ακριβείς πληροφορίες για τη θέση ενός σημείου, το υψόμετρό του, την ταχύτητα και την κατεύθυνση της κίνησης του. Επίσης, σε συνδυασμό με ειδικό λογισμικό χαρτογράφησης μπορούν να απεικονίσουν γραφικά τις πληροφορίες αυτές. Το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε από το στρατό των Η.Π.Α, ως ένα στρατιωτικό σύστημα πλοήγησης αλλά σύντομα έγινε διαθέσιμο στο ευρύ κοινό. Για την εύρεση του στίγματος οι δορυφόροι έχοντας το ρολό του πομπού, στέλνουν σήμα, το οποίο λαμβάνει ο δέκτης ο οποίος βρίσκεται στη γη και με υπολογισμό του χρόνου που έκανε ο δέκτης να το λάβει το σήμα από το πομπό υπολογίζει την μεταξύ τους απόσταση. Όταν ο δέκτης βρίσκεται σε εξωτερικό χώρο και δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο μεταξύ του πομπού (δορυφόρου) και του δέκτη, όπως δέντρα, ψηλά κτήρια κ.τ.λ., το σήμα φτάνει στο δέκτη ανέπαφο. Στην περίπτωση όπου υπάρχουν εμπόδια μεταξύ πομπών και δέκτη το σήμα εξασθενεί, με αποτέλεσμα την μείωση της ακρίβειας της μέτρησης σε ποσοστό που καθίστα το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης αναξιόπιστο. Γίνετε λοιπόν φανερό ότι στην περίπτωση εσωτερικού χώρου, όπου τα εμπόδια που βρίσκονται ανάμεσα στους δορυφόρους και το δέκτη GPS είναι οι τοίχοι οι οποίοι σε συνδυασμό με τις πολλαπλές ανακλάσεις του σήματος στα αντικείμενα του χώρου προκαλούν ανεξέλεγκτα σφάλματα στους υπολογισμούς του στίγματος, το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης δεν μπορεί να αποτελέσει αξιόπιστη λύση για την ακριβή εύρεση του στίγματος.

¹ Η γωνία φ δίνεται σε μοίρες. Για μετατροπή από ακτίνια σε μοίρες χρησιμοποιούμε τον τύπο,
 $1^0 = \frac{\pi}{180^0} rad.$

3.4 Ένδειξη έντασης λαμβανόμενου σήματος (RSSI)

Στις τηλεπικοινωνίες το RSSI (Received Signal Strength Indicator), ένδειξη έντασης λαμβανόμενου σήματος, είναι η μέτρηση της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος. Η μέτρηση αυτή δεν είναι εμφανή στο χρήστη μιας συσκευής αλλά λόγω της μεγάλης σημασίας της στη λειτουργικότητα των συσκευών που χρησιμοποιούν ασύρματα δίκτυα IEEE 802.11 είναι κάποιες φορές διαθέσιμη. Για παράδειγμα το rssι αντιπροσωπεύει την ισχύ του σήματος που λαμβάνει ένας υπολογιστής από το router του wifi που είναι συνδεδεμένος. Γενικά όσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς του σήματος τόσο καλύτερη είναι η επικοινωνία της συσκευής με το σημείο πρόσβασης. Οι τιμές που αντιπροσωπεύουν την μέτρηση της ισχύος είναι συμπιεσμένοι αριθμοί (χρησιμοποιώντας τον λογάριθμο με βάση το 10) με μονάδες μέτρησης τα dBm. Τα dBm (ή ντεσιμπέλ – μιλιβάτ) είναι συντομογραφία του λόγου ισχύος σε dB της μέτρησης ισχύος, αναφερόμενη σε ένα milliwatt (mW), δεδομένης της παραδοχής ότι τα 0dBm αντιστοιχούν σε 1mW. Πιο συγκεκριμένα στην ηλεκτρονική το Ντεσιμπέλ (dB) χρησιμοποιείται για να εκφράσει την στάθμη ενίσχυσης ισχύος των ενισχυτών. Η στάθμη ενίσχυσης ισχύος σε έναν ενισχυτή ισούται με το δεκαπλάσιου του δεκαδικού λογάριθμου του λόγου της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου:

$$L_{(dB)} = 10 * \log_{10} \frac{P_1}{P_0}$$

Τα dBm είναι η σχετική μεταβολή της ισχύος ως προς 1 mW, δηλαδή

$$L_{(dBm)} = 10 * \log_{10} \frac{P_1}{1mW}$$

Είναι φυσιολογικό να υποθέσουμε ότι η ισχύς του σήματος δηλαδή η τιμή του RSSI μειώνεται όσο απομακρύνεται ο πομπός και ο δέκτης. Στο κεφάλαιο 7 σχολιασμός πειραμάτων η υπόθεση αυτή θα αποδεδειχθεί πειραματικά και θα τη χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ πομπού και δεκτή.

3.5 Αισθητήρες υπερήχων

Οι αισθητήρες υπερήχων είναι συσκευές που μετατρέπουν κύματα υπερήχων σε ηλεκτρικά σήματα ή το ανάποδο. Υπάρχουν, πομποί υπερήχων όπου έχουν τη δυνατότητα να δημιουργούν υπέρηχες κυματομορφές και να τις εκπέμπουν, δέκτες υπερήχων όπου έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν υπερήχους και να του μετατρέπουν σε ηλεκτρική τάση και πομποδέκτες υπερήχων όπου έχουν τη δυνατότητα λήψης και εκπομπής υπερήχων κυματομορφών. Οι πομποδέκτες υπερήχων χρησιμεύουν κυρίως στον εντοπισμό αντικειμένων. Η αρχή λειτουργίας του είναι απλή. Αρχικά παράγεται μια υπερηχητική κυματομορφή από τον ενεργητικό αισθητήρα και ανιχνεύεται η ανάκλαση της από τον παθητικό αισθητήρα. Μετρώντας τη διαφορά του χρόνου ανάμεσα στη εκπομπή της κυματομορφής από τον πομπό και της λήψης της ανάκλασης της από το δέκτη μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση του αντικειμένου στο οποίο ανακλάστηκε η κυματομορφή από τον παρακάτω τύπο.

$$d = dt * u$$

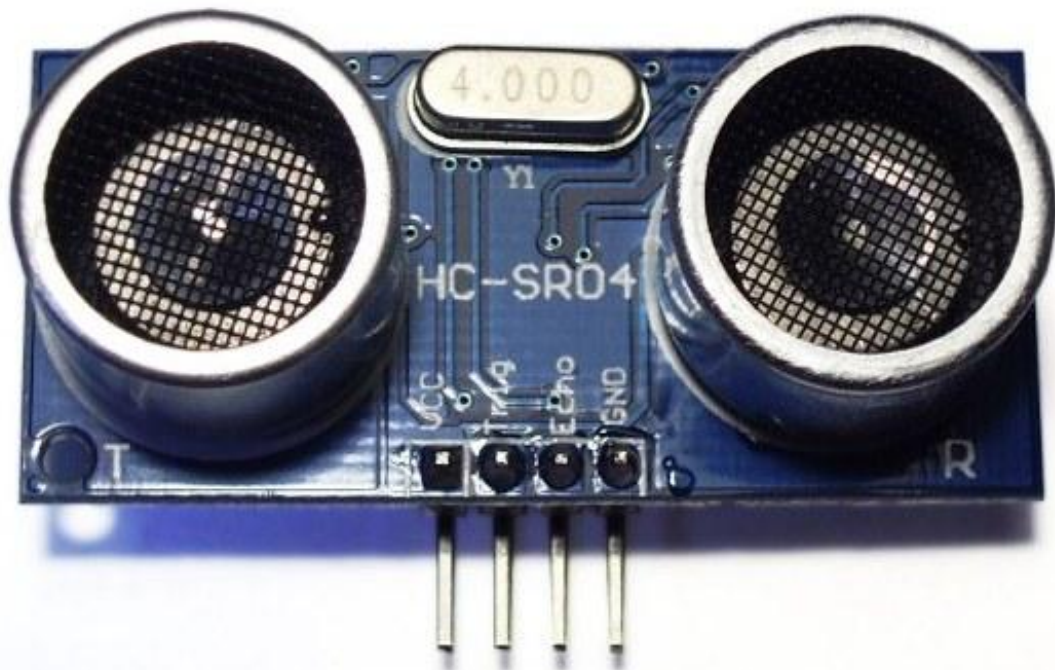
όπου

d = απόσταση σε cm

dt = διαφορά χρόνου εκπομπής και λήψης της κυματομορφής σε μs

u = ταχύτητα του ήχου σε cm/ μs ($340 \text{ m/s} = 0,034 \text{ cm}/\mu s$)

Οι ενεργητικοί αισθητήρες μετατρέπουν την τάση ενός ηλεκτρικού σήματος σε υπέρηχη κυματομορφή ενώ οι παθητικοί αισθητήρες, είναι ουσιαστικά μικρόφωνα όπου ανιχνεύουν την υπέρηχη κυματομορφή και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική τάση [12]. Στην εικόνα μπορούμε να δούμε παράδειγμα αισθητήρα υπερήχων για arduino.



Εικόνα 3.4: Αισθητήρας υπερήχων HCSR04

Κεφάλαιο 4: Ενσωματωμένοι πομποδέκτες

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τον τρόπο με το οποίο επιτυγχάνεται η επικοινωνία μεταξύ οχήματος και χρήστη. Συγκεκριμένα θα μιλήσουμε για τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε, για την αλληλεπίδραση της βάσης και του χρήστη, αλλά και τις ρυθμίσεις που επιδέχεται.

4.2 Περιγραφή εξοπλισμού

Για την υλοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ οχήματος και χρήστη χρησιμοποιήθηκαν χαμηλής κατανάλωσης ψηφιακοί, ενσωματωμένοι πομποδέκτες, στα 2,4 GHz (ίδια συχνότητα με το Wifi του κινητού). Οι πομποδέκτες, ελέγχονται από λογισμικό σε γλώσσα C, μέσω του μικροελεγκτή 8051. Χρησιμοποιώντας μια πλακέτα μικροελεγκτή Silabs Tool-Stick C8051F320 Daughter Card και μια πλακέτα ραδιοφώνου Chipcon/TI CC2500EMK είναι δυνατή η υλοποίηση των προγραμματιζόμενων, ελεγχόμενων από λογισμικό, ενσωματωμένων πομποδεκτών iCubes v0.1. Η επικοινωνία των δυο πλακετών υλοποιείται με τη βοήθεια του πρωτόκολλου Serial Peripheral Interface(SPI). Οι συγκεκριμένοι πομποδέκτες έχουν υλοποιηθεί στο εργαστήριο Τηλεπικοινωνιών του Πολυτεχνείου Κρήτης και είναι ανοιχτού κώδικα, δηλαδή έχουν τη δυνατότητα αλλαγών στο λογισμικό τους. Μερικές από τις ρυθμίσεις που έχουν αφορούν το ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας μεταξύ πομπού και δέκτη, την ισχύ του εκπεμπόμενου σήματος αλλά και την επιλογή της διαμόρφωσης του σήματος πληροφορίας στο φέρον (On-Off Keying – OOK, Frequency Shift Keying-FSK ή Gaussian FSK-GFSK). Στην υλοποίηση χρησιμοποιήθηκε δυαδική FSK. Η πληροφορίες μεταφέρονται τόσο από το πομπό όσο και από το δέκτη σε bits. Οι πομποδέκτες είναι προγραμματισμένοι έτσι ώστε να στέλνουν μαζί με την επιθυμητή πληροφορία που ζητάτε κάθε φορά κάποια επιπλέον bits που περιέχουν πληροφορίες απαραίτητες για τον συγχρονισμό πακέτου και σύμβολου (για εκτίμηση χρόνου εκπομπής της πληροφορίας, γνώση του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας/διάρκειας bit κ.τ.λ.), έτσι ώστε να γίνει η αποκωδικοποίηση της πληροφορίας από το δέκτη. Η πληροφορία που θα χρησιμοποιήσουμε εμείς είναι η ένταση του λαμβανομένου σήματος (Received Signal Strength Indication-RSSI). Η αποστολή του RSSI από τους πομποδέκτες είναι αυτόματη και δε χρειάζεται κάποιο προγραμματισμό. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι οι πομποδέκτες αυτοί είναι ελάχιστα επιβλαβείς για την υγεία, μιας και έχουν μέγιστη ισχύ ακτινοβολίας 1dBm (δηλαδή λίγο παραπάνω από 1 mWatt) σε αντίθεση με ένα κλασικό κινητό που έχει πάνω από 27 dBm (περίπου ίσο με 500 mWatt), δηλαδή εκπέμπουν τουλάχιστον 500 φορές μικρότερη ισχύ ακτινοβολίας σε σχέση με ένα κινητό.

Κεφάλαιο 5: Προσεγγιστικές μέθοδοι για την εύρεση της θέσης του χρήστη

5.1 Εισαγωγή

Όταν πρόκειται να παρακολουθήσεις την πορεία ή να βρεις το στίγμα ενός αντικειμένου σε εξωτερικό χώρο, τότε το Π.Σ.Σ είναι η μια καλή και αξιόπιστη λύση. Οι ανάγκες όμως της εποχής μας ζητάνε εντοπισμό της θέσης ή πορείας ενός αντικειμένου σε εσωτερικούς χώρους, εκεί δηλαδή όπου το Π.Σ.Σ. δεν είναι καθόλου ακριβές. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να βρεθεί η σχετική θέση κάποιου αντικειμένου σε ένα εσωτερικό χώρο. Πάντα θα μιλάμε για σχετική θέση διότι ο εντοπισμός σε όλες τις μεθόδους γίνεται με βάση κάποια σημεία αναφοράς που θα έχουμε και συνεπώς η θέση του αντικειμένου που παρακολουθούμε θα δίνεται σε σχέση με αυτά τα σημεία. Εντοπισμός θέσης γίνεται είτε μετρώντας την απόσταση μεταξύ σημείου αναφοράς και αντικείμενου είτε μετρώντας τη γωνία μεταξύ σημείου αναφοράς και αντικείμενου είτε συνδυάζοντας και τους δυο τρόπους. Για να γίνει αυτή η μέτρηση πρέπει να ανταλλάσσονται πληροφορίες μεταξύ του σημείου αναφοράς και του αντικείμενου που παρακολουθείται, συνεπώς θα πρέπει να υπάρχει ένας πομπός που θα στέλνει την απαραίτητη πληροφορία, ένας δέκτης που θα λαμβάνει την πληροφορία και ένας επεξεργαστής που θα αναλύει και θα επεξεργάζεται τα δεδομένα.

5.2 Μέθοδοι βασισμένοι στη μέτρηση της απόστασης (laternation)

Υπάρχουν τρεις τρόποι με του οποίους είναι δυνατόν να μετρηθεί η απόσταση ανάμεσα σε ένα πομπό και ένα δέκτη. Η πρώτη μέθοδος μετράει την απόσταση μέσω του χρόνου που κάνει το σήμα να πάει από το πομπό στο δέκτη, η δεύτερη μετράει την απόσταση μέσω της διαφοράς χρόνου που κάνει να φτάσει το σήμα σε δυο δέκτες και η τρίτη μετράει την απόσταση μέσω της έντασης του σήματος που λαμβάνει ο δέκτης [9]. Πιο συγκεκριμένα:

5.2.1 Time of arrival

Παίρνοντας ως δεδομένο ότι η ταχύτητα του σήματος που εκπέμπεται από ένα πομπό είναι περίπου ίση με την ταχύτητα του φωτός (300m/ms), μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση ανάμεσα στο πομπό και τον δέκτη μετρώντας το χρόνο που κάνει το σήμα να φτάσει από το πομπό στο δέκτη. Η μέθοδος αυτή απαιτεί τον υπολογισμό του χρόνου με πολύ μεγάλη ακρίβεια, γιατί και είναι απαραίτητο ο πομπό και ο δέκτης να είναι απολύτως συγχρονισμένοι με ένα ακριβή σύστημα μέτρησης χρόνου. Η απόσταση ως γνωστών υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$x = u * t$$

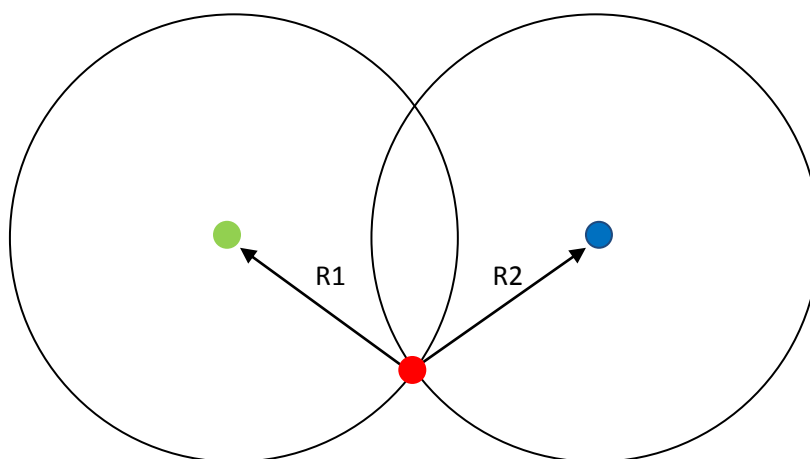
Όπου

x = απόσταση που διένυσε το σήμα σε m

u = ταχύτητα του φωτός

$t = \text{χρόνος σε ms}$

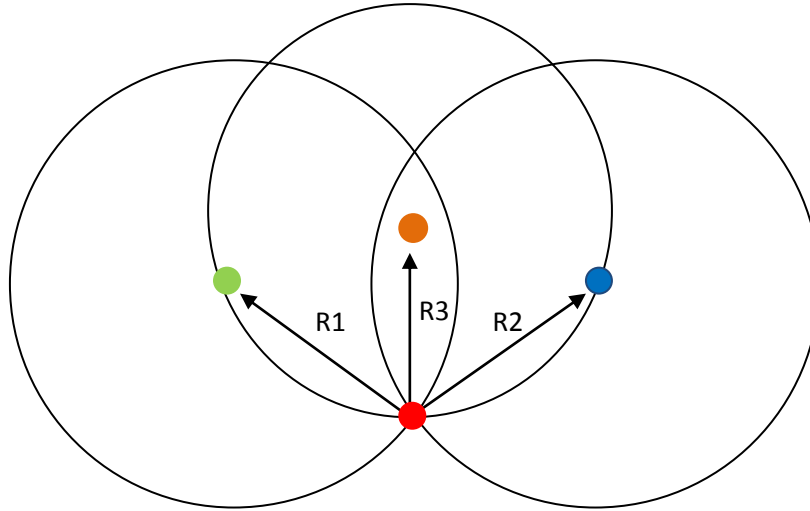
Χρησιμοποιώντας μόνο ένα δέκτη μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη αλλά όχι και την κατεύθυνση του. Με άλλα λόγια ο δέκτης θα βρίσκεται σε κάποιο από τα σημεία ενός κύκλου με ακτίνα την απόσταση που μόλις υπολογίστηκε, αλλά δε θα γνωρίζουμε σε ποιο σημείο είναι. Το πρόβλημα αυτό λύνεται εύκολα τοποθετώντας ένα δεύτερο δέκτη στο αντικείμενο. Με αυτή τη τεχνική έχουμε δυο κύκλους όπου τα σημεία τους είναι πιθανές θέσεις για τον κάθε δέκτη. Δεδομένου ότι ο πομπός βρίσκεται σε ένα μόνο σημείο που ταυτόχρονα ικανοποιεί και τους δυο κύκλους, καταλαβαίνουμε ότι πρόκειται για τα σημεία τομής των δυο κύκλων. Μπορεί να προστεθεί ακόμα ένα δέκτης έτσι ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια της μέτρησης.



Εικόνα 5.1 Τοποθέτηση 2 δεκτών για εύρεση του πομπού

στην εικόνα 5.1 φαίνεται με κόκκινο ο πομπός, ο οποίος απέχει κατά $R1$ από τον πρώτο δέκτη και κατά $R2$ από τον δεύτερο. Βλέπουμε λοιπόν τα δυο σημεία τομής των κύκλων τα οποία είναι τα πιθανά σημεία που βρίσκεται ο πομπός. Λαμβάνοντας και τους φυσικούς και λογικούς περιορισμούς μπορούμε να αποκλείσουμε μια από τις δυο λύσεις στις περισσότερες εφαρμογές. Σε αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιούμε ένα ακόμα δέκτη όπως στην εικόνα 5.2. Με τον τρόπο αυτό αυξάνουμε την ακρίβεια και επιπλέον έχουμε ένα μοναδικό σημείο για τη θέση του πομπού. Η παραπάνω μέθοδος μπορεί να λειτουργήσει με τον ίδιο τρόπο και στις τρεις διαστάσεις [9].

Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη ακρίβεια στο χρόνο που απαιτείται για τους υπολογισμούς. Για παράδειγμα ένα σφάλμα 100 nanosecond έχει ως αποτέλεσμα σφάλμα 30 μέτρων στον υπολογισμό της απόστασης [9].



Εικόνα 5.2 Τοποθέτηση 3 δεκτών για εύρεση του πομπού

5.2.2 Time Difference of Arrival (TDoA)

Σε αυτήν τη μέθοδο η απόσταση υπολογίζεται μετρώντας τη σχετική διαφορά χρόνου ανάμεσα στους δέκτες με αποτέλεσμα να μην είναι αναγκαίος ο συγχρονισμός με ένα ακριβές σύστημα μέτρησης του χρόνου. Ο πομπός στέλνει ένα σήμα και οι δέκτες το λαμβάνουν με μια διαφορά χρόνου ανάλογα με την απόστασή τους από αυτόν, έτσι είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός μόνο των δεκτών [9].

Η συγκεκριμένη μέθοδος βασίζεται στη μαθηματική υπόθεση του υπερβολικού εντοπισμού θέσης. Σύμφωνα με αυτή την υπόθεση απαιτούνται τουλάχιστον τρεις δέκτες για την εύρεση της σχετικής θέσης από τον πομπό. Έστω λοιπόν ότι ένας πομπός A στέλνει ένα σήμα το οποίο λαμβάνεται από δυο δέκτες B, Γ σε χρόνους T_B και T_Γ αντίστοιχα. Η διαφορά του χρόνου λήψης του σήματος από τους δέκτες υπολογίζεται ως εξής

$$TDoA_{B-\Gamma} = |T_B - T_\Gamma| = k$$

Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μιας υπερβολής με εστίες τις θέσεις των δυο δεκτών A, Γ . Αυτή η υπερβολή απεικονίζει όλα τα σημεία στο επίπεδο για τα οποία η διαφορά χρόνου λήψης του σήματος από τους δέκτες A, B είναι όση με k . Συνεπώς ο πομπός θα βρίσκεται σε κάποιο σημείο σε αυτή την υπερβολή. Για τον υπολογισμό του ακριβούς σημείου θα τοποθετήσουμε ένα νέο δέκτη και θα μετρήσουμε τη διαφορά χρόνου ανάμεσα σε αυτόν και των πρώτο [9].

$$TDoA_{\Delta-A} = |T_\Delta - T_A| = k1$$

Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία κατασκευάζουμε άλλη μια υπερβολή με κέντρα τα σημεία A, Δ και σταθερά την τιμή $k1$. Και πάλι αυτή η υπερβολή απεικονίζει όλα τα σημεία στα οποία η διαφορά χρόνου λήψης του σήματος από τον δέκτη A και Δ είναι ίση με $k1$. Όπως και στην προηγούμενη μέθοδο το σημείο που βρίσκεται ο πομπός είναι το σημείο τομής των δυο υπερβολών. Φυσικά για αύξηση της ακρίβειας μπορεί να προστεθεί και τέταρτος δέκτης [9].

5.2.3 Received signal strength (RSS)

Σε αντίθεση με τις δυο προηγούμενες μεθόδους, εδώ δε μετράμε το χρόνο για τον υπολογισμό της απόστασης. Ο υπολογισμός επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης της έντασης του σήματος είτε από τον πομπό είτε από το δέκτη. Γνωρίζοντας την ισχύ εξόδου του σήματος και τις διάφορες απώλειες στο χώρο, όπως και το κατάλληλο μοντέλο απωλειών, μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Ένα κλασσικό μοντέλο για τον υπολογισμό των απωλειών σε εσωτερικό χώρο είναι το παρακάτω [9].

$$PL = PL_{1METER} + 10\log(d^n) + s$$

όπου:

PL: Εκφράζει τη συνολική απώλεια ανάμεσα στο πομπό και στο δέκτη σε dB και είναι πάντα μεγαλύτερο ή ίσο με το μηδέν. Είναι ουσιαστικά η διαφορά ανάμεσα στη τιμή της έντασης του σήματος που στέλνει ο πομπός με αυτή που λαμβάνει ο δέκτης.

PL1METER: Εκφράζει τις απώλειες σε dB στην επιθυμητή συχνότητα όταν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι ένα μέτρο.

d: Εκφράζει την απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη σε μέτρα.

n: Εκφράζει τον εκθέτη απωλειών για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Εκφράζει το ρυθμό με τον οποίο μειώνεται η ένταση του σήματος ανάλογα με την απόσταση. Εξαρτάται κατά πολύ από τα εμπόδια που υπάρχουν στο χώρο. Για παράδειγμα, σε ένα εσωτερικό χώρο χωρίς εμπόδια ο συντελεστής απωλειών είναι 2 ενώ για ένα περιβάλλον με εμπόδια είναι μεγαλύτερος του 2. Τυπικές τιμές για τον συντελεστή σε ένα περιβάλλον γραφείου είναι 3.5, σε μια βιομηχανία 3.7 με 4 και σε ένα σπίτι 4.5 [9].

s: εκφράζει τη δεδομένη απόκλιση που σχετίζεται με το βαθμό της εξασθένησης του σήματος στο συγκεκριμένο μέσο που υπάρχει στο περιβάλλον (shadow fading) και είναι επίσης πάντα μεγαλύτερο ή ίσο με το μηδέν. Στις περισσότερες εφαρμογές εσωτερικού χώρου παίρνει τιμές ανάμεσα στα 3 με 7 Db [9].

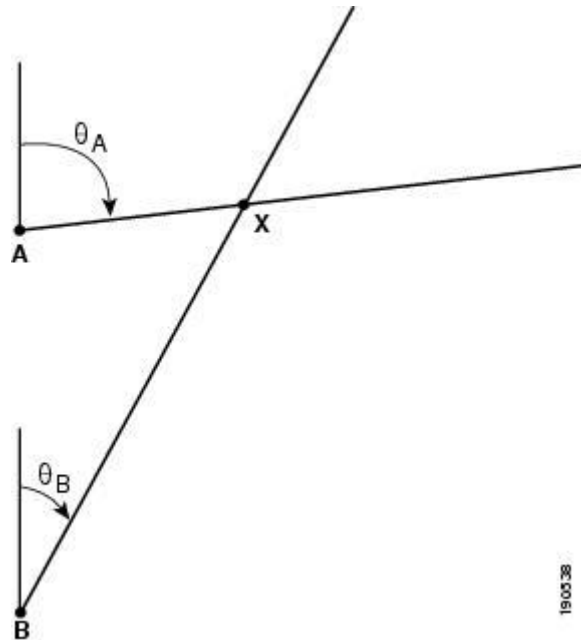
Λύνοντας ως προς την απόσταση μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα κύκλο με ακτίνα *d*, ο οποίος θα αναπαριστά τα πιθανά σημεία στα οποία βρίσκεται ο πομπός. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους χρησιμοποιούμε δυο ή περισσότερους δέκτες έτσι ώστε να βρούμε την ακριβή θέση του πομπού [9].

Γενικότερα η μεθοδολογία αυτή δίνει καλά αποτελέσματα σε πολύ δομημένα περιβάλλοντα. Συχνά χρησιμοποιείται παράλληλα με άλλες μεθοδολογίες [9].

5.3 Μέθοδοι βασισμένοι στη μέτρηση της γωνίας (Angulation)

5.3.1 Angle of arrival (AoA)

Αυτή η μεθοδολογία βρίσκει τη θέση του πομπού χρησιμοποιώντας τη γωνία με την οποία φτάνει το σήμα στους δέκτες. Για την εύρεση ενός πομπού σε δισδιάστατο χώρο απαιτούνται τουλάχιστον δυο δέκτες και φυσικά για αύξηση της ακρίβειας μπορεί να χρησιμοποιηθούν τρεις ή παραπάνω δέκτες. Σε μια απλοποιημένη μορφή της μεθόδου, για την εύρεση της κατεύθυνσης του σήματος χρησιμοποιούνε κατευθυντικές κεραίες τοποθετημένες πάνω σε περιστρεφόμενες βάσεις έτσι ώστε να μπορούν να βρουν τη διεύθυνση της μέγιστης έντασης του σήματος, δηλαδή την διεύθυνση του πομπού. Με αυτό το τρόπο είναι δυνατή η εύρεση των γωνιών θ_A και θ_B όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3. Φυσικά όπως και πριν το σημείο τομής τους είναι το σημείο στο οποίο βρίσκεται ο πομπός [9].



Εικόνα 5.3: Angle of arrival

Στις εμπορικές και στρατιωτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται συστήματα με πολλαπλές κεραίες με σκοπό την εξάλειψη των δύσκολων μηχανικών συστημάτων που απαιτούνται αλλά και της συντήρησής τους. Ελέγχοντας περιοδικά τις κεραίες του συστήματος και χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο διαχειρίζεται από ένα υπολογιστικό σύστημα, επιτυγχάνεται ο υπολογισμός της γωνίας με την οποία φτάνει το σήμα στις κεραίες. Σε τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται ουσιαστικά υπολογισμοί όμοιοι με αυτούς της μεθοδολογίας TDoA για την εύρεση της διαφοράς φάσης στις κυματομορφές που φτάνει στις κεραίες. Σε ένα κατάλληλα κατασκευασμένο σύστημα κεραιών η διαφορά στο χρόνο και στη φάση που λαμβάνουν οι κεραίες την κυματομορφή είναι ελάχιστη αλλά είναι μετρήσιμη. Ουσιαστικά αυτή η τεχνική μετράει το χρόνο στον οποίο κάθε κεραία

λαμβάνει το σήμα υπολογίζει τη διαφορά χρόνου λήψης ανάμεσα στις κεραίες του συστήματος (TDoA) και μετατρέπει αυτή τη πληροφορία σε γωνία (AoA) [9].

Σημαντικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι οι ανακλάσεις του σήματος σε εμπόδια που βρίσκονται στο χώρο μειώνουν σημαντικά την ακρίβεια του αποτελέσματος [9].

Κεφάλαιο 6: Προτεινόμενοι τρόποι παρακολούθησης αντικειμένου σε εσωτερικούς χώρους

6.1 Εισαγωγή

Δεδομένου ότι η χρήση του Παγκόσμιου Συστήματος Στιγματοθέτησης δεν είναι αρκετά ακριβής για την τις περισσότερες εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους, υπήρξε η ανάγκη για ανάπτυξη νέων μεθόδων και μοντέλων για την εύρεση του στίγματος ή την παρακολούθηση της πορείας ενός αντικείμενου. Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα της ανίχνευσης της θέσης του χρήστη από τη βάση μεταφοράς αναπτύχθηκαν διάφορες μεθοδολογίες. Οι μεθοδολογίες που αναπτύχθηκαν μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες.

6.2 Πρώτη κατηγορία (RSSI)

Η πρώτη κατηγορία που θα αναλύσουμε βασίζεται στην εξεργασία της μέτρησης της έντασης του σήματος με την οποία ένας πομπός στέλνει δεδομένα σε ένα δέκτη. Φυσικά για να παρακολουθήσουμε την πορεία του χρήστη ή να βρούμε το στίγμα του στο χώρο με αυτή τη μέθοδο θα πρέπει, είτε ο πομπός είτε ο δέκτης να είναι συνεχώς επάνω στο χρήστη. Η παραπάνω μέθοδος μας δίνει την σχετική απόσταση ή/και κλίση του πομπού και του δέκτη, συνεπώς είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε τη θέση του πομπού ή του δέκτη. Η υλοποίηση της μεθοδολογίας αυτής μπορεί να γίνει με όλες τις συσκευές ασύρματης επικοινωνίας, όπως wifi, Bluetooth, ραδιοκύματα, κ.τ.λ.

Σε αυτή τη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε χαμηλής κατανάλωσης ψηφιακούς, ενσωματωμένους πομποδέκτες, στα 2,4 GHz και ένα όχημα διαφορικής οδήγησης το οποίο θα κινείται επεξεργάζοντας την μέτρηση της έντασης του σήματος με την οποία οι δέκτες και ο πομπός ανταλλάζουν πληροφορίες. Οι δέκτες τοποθετούνται αντιδιαμετρικά στις άκρες του μπροστινού μέρους του οχήματος ενώ ο πομπός είναι τοποθετημένος στο χρήστη. Ο επεξεργαστής του οχήματος λαμβάνει τη μέτρηση της έντασης του σήματος από κάθε δέκτη ξεχωριστά και τη συγκρίνει με την επιθυμητή τιμή. Η επιθυμητή τιμή είναι η ένταση του σήματος που λαμβάνουν οι δέκτες όταν ο χρήστης βρίσκεται στη θέση που επιθυμούμε να τον ακολουθάμε. Αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης είναι η γνώση για το αν ο πομπός έχει απομακρυνθεί ή έχει πλησιάσει τους δέκτες. Σε κάθε περίπτωση το όχημα επιβραδύνει ή επιταχύνει τον κάθε τροχό ξεχωριστά ανάλογα με τη μέτρηση του αντίστοιχου δέκτη. Στην περίπτωση που ο χρήστης προχωράει ευθεία μπροστά ή πίσω η ένταση του σήματος μειώνεται ή αυξάνεται και στους δυο δέκτες το ίδιο, συνεπώς και οι δυο τροχοί αυξάνουν την ταχύτητα τους το ίδιο. Όταν το αντικείμενο στρίψει δεξιά ή αριστερά τότε ο πομπός θα απομακρυνθεί περισσότερο από τον ένα τροχό με συνέπεια η ταχύτητα αυτού του τροχού να αυξηθεί περισσότερο σε σχέση με τον άλλο και το όχημα να στρίψει.

Πλεονεκτήματα

Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση του κινητού τηλεφώνου στη θέση του πομπού (κεφάλαιο 10). Επιπλέον οι μετρήσεις είναι αρκετά

ακριβείς σε κοντινές αποστάσεις χωρίς εμπόδια κάτι που είναι πολύ θετικό για τη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Μειονεκτήματα

Το κόστος υλοποίησης της παραπάνω μεθόδου είναι αρκετά αυξημένο σε σχέση με τις παρακάτω μεθοδολογίες. Επίσης η ακρίβεια των μετρήσεων είναι αρκετά καλή αλλά έχει προβλήματα λόγω ανακλάσεων του σήματος στα διάφορα εμπόδια στο χώρο, με συνέπεια την μείωση της αποτελεσματικότητας της μεθόδου όταν μεταξύ του πομπού και του δέκτη παρεμβάλλονται εμπόδια ή όταν βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση.

6.3 Δεύτερη κατηγορία (Αισθητήρες υπερήχων)

Η δεύτερη κατηγορία καταφέρει να βρει τη σχετική απόσταση μεταξύ δυο αντικειμένων με τη χρήση αισθητήρων υπερήχων. Πιο συγκριμένα παρατίθενται παρακάτω τρεις εναλλακτικοί τρόποι χρήσης των αισθητήρων υπερήχων με τους οποίους επιτυγχάνεται το παραπάνω εγχείρημα.

6.3.1 Εναλλακτική πρώτη: Κινητήρας servo και αισθητήρας απόστασης

Σε αυτή την περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε ένα αισθητήρα υπερήχων στο μπροστινό μέρος του οχήματος τοποθετημένο σε μια περιστρεφόμενη βάση. Η περιστροφή της βάσης του αισθητήρα θα ελέγχεται από ένα κινητήρα τύπου servo με σκοπό τη σάρωση του χώρου. Όταν ο αισθητήρας υπερήχων εντοπίζει ένα εμπόδιο θα υπολογίσει τη σχετική τους απόσταση και ανάλογα με την σύγκριση της τιμής της με την επιθυμητή απόσταση θα επιταχύνει, θα επιβραδύνει ή θα κρατεί σταθερή ταχύτητα. Ταυτόχρονα η θέση του κινητήρα servo στην οποία ο αισθητήρας εντοπίζει το εμπόδιο μας δίνει την κλίση με την οποία χρειάζεται να στρίψει το όχημα για να ευθυγραμμιστεί με το χρήστη. Στην περίπτωση όπου ο αισθητήρας χάνει από το εμπόδιο από μπροστά του η βάση, περιστρέφεται έως ότου ο αισθητήρας εντοπίζει ξανά το εμπόδιο. Υπολογίζεται ξανά η απόσταση και εκτελείται η απαραίτητη στροφή του οχήματος.

Πλεονεκτήματα

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία είναι εύκολα υλοποιήσιμη και με χαμηλό κόστος. Δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις και οι αισθητήρες, οι κινητήρες και οι ελεγκτές που απαιτούνται είναι εύκολα διαθέσιμη στο εμπόριο.

Μειονεκτήματα

Η αναγνώριση του χρήστη είναι πάρα πολύ αυθαίρετη. Ο αισθητήρας δεν αντιλαμβάνεται την διαφορά του χρήστη από ένα οποιοδήποτε άλλο εμπόδιο. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος είναι ότι σε πραγματικές συνθήκες αεροδρομίου υπάρχει μεγάλη πιθανότητα ο αισθητήρας να μπερδέψει το χρήστη με κάποιο άλλο αντικείμενο που θα παρεμβληθεί ανάμεσα τους και να αρχίσει να ακολουθεί αυτό. Επίσης ο αισθητήρας είναι τοποθετημένος χαμηλά, με συνέπεια οι μετρήσεις που θα παίρνει να είναι από τα ποδιά του χρήστη. Καθώς

λοιπόν ο χρήστης περπατάει, οι μετρήσεις θα είναι αρκετά δύσκολο να αναλυθούν λόγω του ότι οι κινήσεις των ποδιών του δεν είναι ταυτόχρονες αλλά το ένα πόδι έπεται το άλλο.

6.3.2 Εναλλακτική δεύτερη: Αισθητήρες υπερήχων περιμετρικά του οχήματος

Σε αυτή τη περίπτωση δε θα έχουμε ένα κινούμενο αισθητήρα που θα σαρώνει το πεδίο μπροστά από το όχημα αλλά σταθερά τοποθετημένους αισθητήρες περιμετρικά του μπροστινού μέρους του οχήματος. Οι αισθητήρες θα είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το πεδίο μπροστά από το όχημα και το εύρος του ενός να μην επικαλύπτετε από το εύρος του άλλου. Με αυτό το τρόπο θα μπορούμε να αναγνωρίζουμε κάθε φορά σε ποια περιοχή βρίσκεται ο χρήστης και να τον ακολουθούμε. Η κλίση με την οποία απαιτείται να στρίψει το όχημα θα είναι η κλίση με την οποία έχει τοποθετηθεί ο αισθητήρας στον οποίου το πεδίο βρίσκεται ο χρήστης και η επιτάχυνση ή επιβράδυνση του οχήματος από την απόσταση που βρίσκεται ο χρήστης από το όχημα.

Πλεονεκτήματα

Όπως και στην προηγούμενη μεθοδολογία, έτσι και σε αυτή η υλοποίηση δεν έχει ιδιαίτερες δυσκολίες. Επίσης το κόστος των αισθητήρων είναι αρκετά χαμηλό.

Μειονεκτήματα

Όπως και στην προηγούμενη μεθοδολογία η ταυτοποίηση του χρήστη είναι ανύπαρκτη, συνεπώς και σε αυτή τη περίπτωση το όχημα είναι εύκολο να μπερδέψει το χρήστη με κάποια άλλο αντικείμενο στο χώρο. Συνεχίζει επίσης να υπάρχει το πρόβλημα με τις μετρήσεις των αισθητήρων λόγω της κίνησης των ποδιών.

6.3.3 Εναλλακτική τρίτη: Αισθητήρες υπερήχων ως δέκτες

Σε αυτή τη περίπτωση οι αισθητήρες υπερήχων λειτουργούν μόνο ως δέκτες, σε αντίθεση με τις προηγούμενες μεθόδους που ήταν και πομποί και δέκτες. Ο χρήστης είναι εφοδιασμένος με μια συσκευή που παράγει υπερήχους και το όχημα με τους δέκτες των υπερήχων. Οι δέκτες στο όχημα είναι τοποθετημένοι αντιδιαμετρικά στις άκρες του μπροστινού μέρους του έτσι ώστε να λαμβάνουν τους υπερήχους χωρίς το ίδιο το όχημα να κάνει παρεμβολές στις μετρήσεις. Όταν ο πομπός βρίσκεται στο κεντρικό άξονα του οχήματος, οι δυο δέκτες θα λαμβάνουν τον υπέρηχο την ίδια χρονική στιγμή. Σε αντίθετη περίπτωση ένας από τους δυο δέκτες θα λαμβάνει πρώτος τον υπέρηχο και ο άλλος θα έπεται. Γνωρίζοντας ότι ο χρήστης έχει στρίψει από τη πλευρά του δέκτη που λαμβάνει τον υπέρηχο πρώτος και χρησιμοποιώντας την διαφορά χρόνου λήψης του υπέρηχου από τους δυο δέκτες μπορούμε να υπολογίσουμε την απαραίτητη στροφή του οχήματος έτσι ώστε να ευθυγραμμιστεί και πάλι με το χρήστη.

Πλεονεκτήματα

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει καλά αποτελέσματα (κεφάλαιο 14) και είναι αρκετά οικονομική. Σε αντίθεση με τις δυο προηγούμενες μεθόδους, η συγκεκριμένη

αντιλαμβάνεται το χρήστη ως μοναδικό μιας και το σήμα που ανιχνεύουν οι δέκτες παράγεται από τον χρήστη.

Μειονεκτήματα

Στην περίπτωση που βρεθεί κάποιο εμπόδιο ανάμεσα στο πομπό και του δέκτες το σήμα θα χαθεί. Παράλληλα καθ'όλη τη διάρκεια της διαδικασίας οι δέκτες θα λαμβάνουν και άλλους υπερήχους από διαφορετικές κατευθύνσεις από αυτή του πομπού, λόγω ανεπιθύμητων ανακλάσεων του σήματος.

Σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί κατά την υλοποίηση κάθε μιας από τις παραπάνω μεθόδους με χρήση υπερήχων είναι οι ανακλάσεις που προέρχονται από τα διάφορα αντικείμενα στο χώρο. Επίσης σημαντικό είναι να χρησιμοποιηθεί κάποιο φίλτρο στις τιμές των αισθητήρων έτσι ώστε να απορρίπτονται οι ακραίες τιμές που προκαλούνται από θορύβους και δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα.

6.4 Τρίτη κατηγορία (Επιταχυνσιόμετρο – γυροσκόπιο)

Η τρίτη κατηγορία βασίζεται στην καταγραφή της κινητικής κατάστασης του χρήστη σε πραγματικό χρόνο και την μεταφορά των δεδομένων στο όχημα το οποίο θα ακολουθεί αυτές τις αλλαγές. Η καταγραφή της κινητικής κατάστασης του χρήστη γίνεται μέσω ενός συστήματος επιταχυνσιόμετρου - γυροσκοπίου. Παράλληλα θα υπάρχει ένα άλλο όμοιο σύστημα στο όχημα και θα λειτουργεί ως δέκτης. Τοποθετούνται αρχικά το όχημα και ο χρήστης στη επιθυμητή απόσταση και το σύστημα του χρήστη ενημερώνει το όχημα για την κινητική κατάσταση του, την οποία ακολουθεί το όχημα με τη βοήθεια του δικού του συστήματος επιταχυνσιόμετρου - γυροσκοπίου.

Πλεονεκτήματα

Τα δεδομένα που θα λαμβάνουμε από τους αισθητήρες είναι η επιτάχυνση και η κλίση του χρήστη. Δε χρειάζεται να μετατρέψουμε την πληροφορία που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες μέσω κάποιου μαθηματικού μοντέλου γεγονός που κάνει την διαδικασία πιο εύκολη και άμεση.

Μειονεκτήματα

Τα επιταχυνσιόμετρα και τα γυροσκόπια έχουν πρόβλημα ευστάθειας. Όταν το όχημα βρίσκεται ακίνητο πίσω από τον ακίνητο χρήστη για αρκετή ώρα θα δημιουργηθούν θέματα ολίσθησης στις τιμές των συστημάτων. Με λίγα λόγια τα επιταχυνσιόμετρα και τα γυροσκόπια θα εντοπίζουν κίνηση που στην πραγματικότητα δεν υπάρχει.

6.5 Τέταρτη κατηγορία (Κάμερα)

Η τέταρτη κατηγορία βασίζεται στην παρακολούθηση του χρήστη μέσω κάμερας που θα βρίσκεται στο όχημα. Η παρακολούθηση του χρήστη μπορεί να γίνει με δυο τρόπους. Η πρώτη επιλογή είναι να τοποθετήσουμε ένα χαρακτηριστικό σημάδι πάνω στο χρήστη το οποίο θα αναγνωρίζει η κάμερα και θα ακολουθεί, ή να υπάρχει ένα πρωταρχικό στάδιο στο οποίο η κάμερα θα καταγράφει τη μορφή του χρήστη και με κατάλληλη επεξεργασία θα την ακολουθεί. Η κάμερα θα μπορεί να είναι είτε σταθερά τοποθετημένη πάνω στο

όχημα είτε να είναι τοποθετημένη σε περιστρεφόμενη βάση έτσι ώστε να έχει μεγαλύτερο οπτικό πεδίο και να προσαρμόζεται καλύτερα στις μεταβολές της θέσης του χρήστη. Σε κάθε περίπτωση η μετακίνηση του στόχου της κάμερας θα αναλύεται μέσω κατάλληλων προγραμμάτων (π.χ. OpenCV) και θα μεταφράζει την μετακίνηση του χρήστη σε ταχύτητες στους τροχούς μέσω του κινητικού μοντέλου του οχήματος.

Πλεονεκτήματα

Η ταυτοποίηση του στόχου και η παρακολούθηση του μέσω χαρακτηριστικών του κάνει αυτή τη μέθοδο αρκετά αξιόπιστη σε σχέση με αυτές των υπερήχων. Παράλληλα το οπτικό της πεδίο είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να μπορεί να παρακολουθήσει μεγάλες μεταβολές της κίνησης του χρήστη.

Μειονεκτήματα

Το βασικό πρόβλημα σε αυτή την λύση είναι η αλλαγή της φωτεινότητας του χώρου. Η κάμερα θα ακολουθεί ένα αντικείμενο (σημάδι) βάση της χρωματικής του απόχρωσης. Όταν η φωτεινότητα του χώρου αλλάζει, θα αλλάζει και αυτή η απόχρωση. Επίσης εξίσου σημαντικό είναι το πρόβλημα της κάμερας να αναγνωρίζει το πραγματικό σημάδι, μιας και το μόνο που το ξεχωρίζει από οποιοδήποτε άλλο σημάδι στο χώρο είναι η απόχρωση του. Έτσι η κάμερα μπορεί να μπερδέψει το σημάδι που επιθυμούμε να ακολουθήσει με κάποιο άλλο σημάδι ίδιας απόχρωσης και να ακολουθεί τελικά το τελευταίο. Επιπλέον η συγκεκριμένη μέθοδος απαιτεί μεγάλη υπολογιστική ισχύς με αποτέλεσμα η υπολογιστική μονάδα του οχήματος να γίνεται αρκετά πιο ογκώδης σε σχέση με τις υπόλοιπες λύσεις.

6.6 Περιορισμοί και επιλογή μεθόδου

Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής θα τεθούν αυστηροί περιορισμοί. Αρχική προϋπόθεση πάνω στην οποία θα στηριχτεί η επιλογή της μεθόδου είναι ότι ο χρήστης πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιεί τη βάση μεταφοράς ελέγχοντας τα πάντα από το κινητό του τηλέφωνο και χωρίς να απαιτείται η χρήση κάποιας άλλης συσκευής. Επίσης απαιτείται ο χρήστης να αναγνωρίζεται από τη βάση ως μοναδικός στο χώρο του αεροδρομίου, με σκοπό την λειτουργία της βάσης σε χώρους με συνωστισμό αλλά και την ταυτόχρονη λειτουργία πολλών βάσεων στον ίδιο χώρο. Τέλος θα πρέπει η βάση μεταφοράς να είναι το ίδιο αξιόπιστη τόσο σε εσωτερικό όσο και σε εξωτερικό περιβάλλον.

Λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω περιορισμούς, η μέθοδος καταγραφής της κινητικής κατάστασης του χρήστη αποκλείεται λόγω της αδυναμίας χρήσης του κινητού τηλεφώνου για την υλοποίηση της ιδέας. Παρότι το κινητό έχει ενσωματωμένο σύστημα επιταχυνσιόμετρου και γυροσκοπίου, δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί διότι για να παίρνουμε τις απαραίτητες πληροφορίες απαιτείται ο χρήστης να κρατάει το κινητό του σταθερά σε ευθεία θέση καθ'όλη τη διάρκεια της διαδικασίας. Επίσης οι μέθοδοι, με την τοποθέτηση συστήματος υπερήχων περιμετρικά του οχήματος και την τοποθέτηση αισθητήρα υπερήχων σε περιστρεφόμενη βάση απορρίπτονται λόγω της αδυναμίας τους στην αναγνώριση του χρήστη ως μοναδικό και στη κατά πολύ μειωμένη απόδοση τους σε χώρους με πολλά ,κινούμενα και μη, εμπόδια γύρο από το χρήστη. Τέλος, σημαντικό πρόβλημα παρουσιάζει η μεθοδολογία με χρήση κάμερας όταν βρισκόμαστε σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς χώρους όπου η φωτεινότητα αλλάζει συνεχώς. Σε συνθήκες

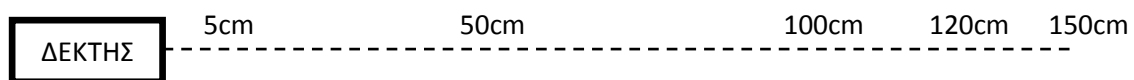
αεροδρομίου όσο και σε συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος δεν έχουμε σταθερή φωτεινότητα με αποτέλεσμα να αποκλείεται και αυτή η μέθοδος για την ανίχνευση του χρήστη από τη βάση.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της βάσης μεταφοράς είναι αυτή της πρώτης κατηγορίας, η οποία μετράει την ένταση του σήματος ανάμεσα στο πομπό και το δέκτη, ως η πιο ενδιαφέρουσα για μελέτη και για την επιβεβαίωση του ισχυρισμού της λειτουργίας της. Σημαντική παράμετρος στην απόκλιση της μεθόδου όπου οι αισθητήρες υπερήχων λειτουργούν ως δέκτες είναι ότι τα κινητά με μικρόφωνα που είναι ικανά να παράγουν υπερήχους είναι περιορισμένα. Βέβαια η τελική πρόταση για την μελλοντική υλοποίηση της βάσης μεταφοράς είναι η χρήση ενός συστήματος όπου η μέτρηση της έντασης του σήματος συνδυασμένη με τη χρήση αισθητήρων υπερήχων ως δέκτες θα μπορούν να ακολουθούν το χρήστη πιο αποτελεσματικά διορθώνοντας ή μια την άλλη.

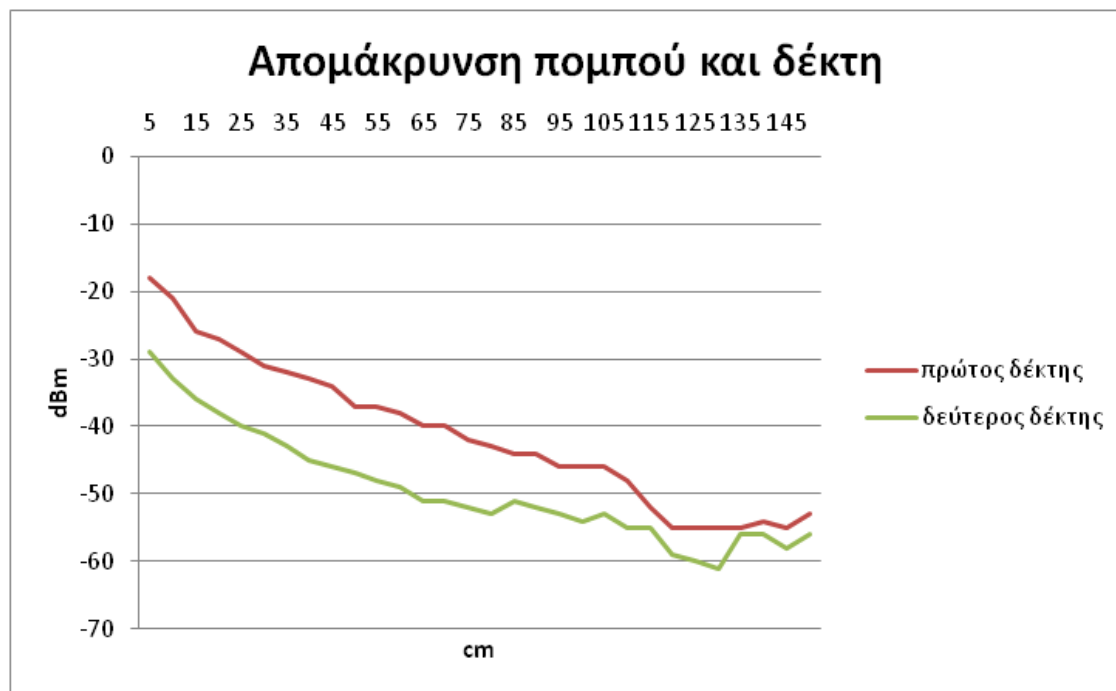
Κεφάλαιο 7: Περιγραφή προκαταρκτικών πειραμάτων για τη σωστή λειτουργία των πομποδεκτών

Για τον έλεγχο της σωστής λειτουργίας των πομποδεκτών αλλά και της ευαισθησίας που έχουν έγινε το εξής πείραμα:

Τοποθετήθηκε ο δέκτης σε σταθερό σημείο και ο πομπός κινούταν κατά μήκος μιας νοητής γραμμής μπροστά από το δέκτη, με σκοπό να παρατηρηθεί πως αλλάζει η ένταση του σήματος ανάλογα με την απόσταση του πομπού και του δέκτη.



Η κίνηση του πομπού έγινε με αρχική απόσταση από το δέκτη 5 cm και συνεχίστηκε με βήμα 5 cm έως τα 150 cm. Οι μετρήσεις της έντασης του σήματος που λάμβανε ο πρώτος και ο δεύτερος δέκτης φαίνονται στο διάγραμμα 7.1.



Διάγραμμα 7.1 : Απομάκρυνση πομπού και δέκτη

Παρατηρώντας το διάγραμμα 7.1 συμπεραίνουμε ότι ο πρώτος δέκτης συμπεριφέρεται σωστά για αποστάσεις από 5cm έως 120cm από το πομπό. Ο δεύτερος δέκτης αρχίζει να παρουσιάζει προβλήματα μόλις ο πομπός ξεπεράσει την απόσταση των 80cm. Επίσης παρατηρούμε ότι για αποστάσεις μεγαλύτερες των 120cm οι μετρήσεις μας δεν είναι αξιόπιστες για κανένα δέκτη. Συνεπώς οι παραπάνω πομποδέκτες είναι αξιόπιστοι, έχοντας μικρές ασυνέχειες, και μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα, αποτελεσματικά για αποστάσεις από 5 cm έως 80 cm.

Ο μόνος τρόπος για την αντιμετώπιση αυτής της απόκλισης που έχουν οι μετρήσεις μετά τα 80cm είναι να προγραμματιστεί η βάση μεταφοράς έτσι ώστε να αντιδράει στις κινήσεις του χρήστη με τέτοιο τρόπο ώστε να μην απομακρύνεται ποτέ από αυτόν περισσότερο από 80cm.

Δεδομένου ότι θέλουμε να εντοπίσουμε την κίνηση ενός ανθρώπου καθώς περιπατάει θα ήταν σωστό να παρατηρήσουμε τις μεταβολές του σήματος ανά 30cm και ανά 50cm, δηλαδή όσο είναι ένα μέσο ανθρώπινο βήμα. Τα 30cm αντιπροσωπεύουν ένα σχετικά μικρό βήμα ενώ τα 50cm ένα μεγαλύτερο. Και στις δυο παραπάνω περιπτώσεις οι μεταβολές της έντασης του σήματος είναι ξεκάθαρες όπως φαίνεται και στους παρακάτω πίνακες. Συνεπώς οι μικρές ασυνέχειες στην λαμβανόμενη ένταση του σήματος επηρεάζουν από ελάχιστα έως καθόλου την κίνηση του ρομπότ.

Μετακίνηση του πρώτου πομπού με βήμα 30cm και 50cm

Βήμα 30 cm

cm	RSSI
5	-18
35	-32
65	-40
95	-46

Βήμα 50 cm

cm	RSSI
5	-18
55	-37
105	-46

Μετακίνηση του δεύτερου πομπού με βήμα 30cm και 50cm

Βήμα 30 cm

cm	RSSI
5	-29
35	-43
65	-51
95	-53

Βήμα 50 cm

cm	RSSI
5	-29
55	-48
105	-53

Κεφάλαιο 8: Εγκατάσταση εξοπλισμού στο reDevil

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τον τρόπο με τον οποίο έγινε η υλοποίηση και η δοκιμή της ιδέας. Αρχικά θα παρουσιαστεί ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και έπειτα η τοποθέτηση του εξοπλισμού στο ρομποτικό όχημα reDevil.

Για την υλοποίηση της μελέτης και του προγραμματισμού της βάσης μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε το ρομποτικό όχημα παντός εδάφους (ATRV mini) reDevil. Το ρομποτικό όχημα reDevil παρουσιάζεται στην εικόνα 8.1 και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρουσιάζονται στον πίνακα 8.1 [4].

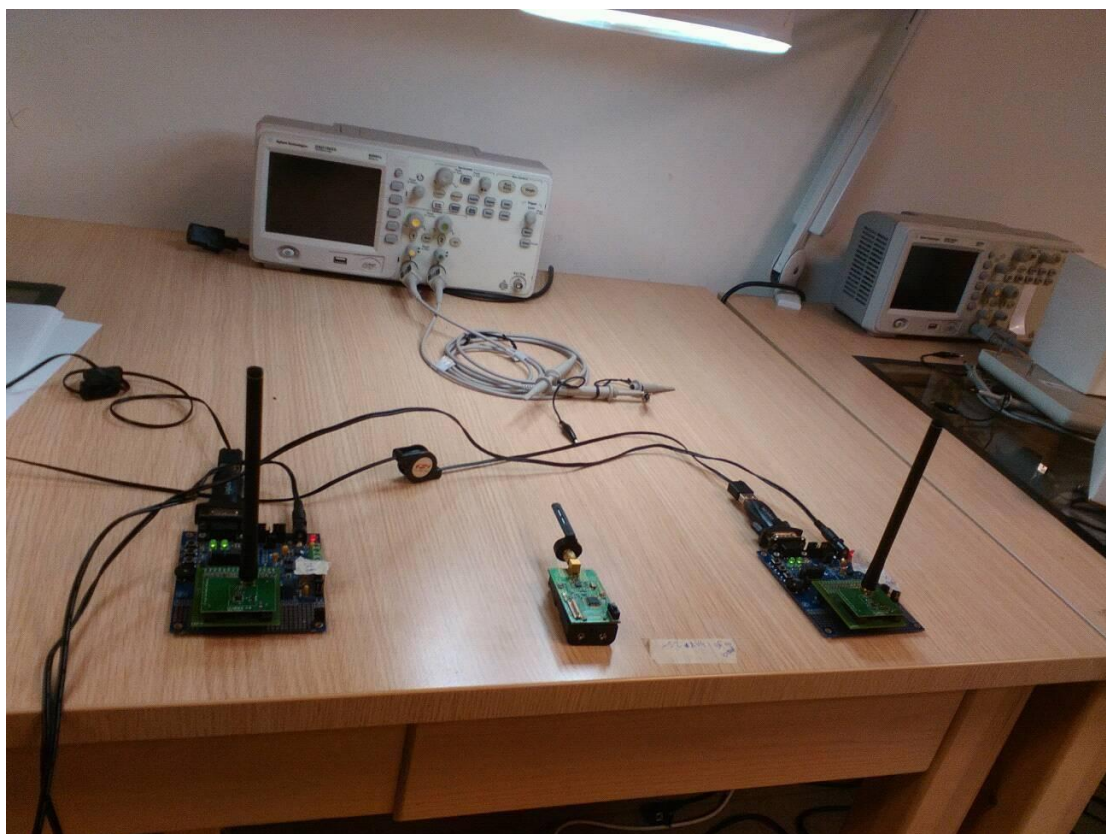
Για τη μέτρηση της έντασης του σήματος χρησιμοποιήθηκαν χαμηλής κατανάλωσης ψηφιακούς, ενσωματωμένους πομποδέκτες στα 2,4 GHz (εικόνα 8.2), δυο ως δέκτες και ένα ως πομπός. Ο πομπός τοποθετείται στο χρήστη και αντιπροσωπεύει την κεραία του κινητού του και οι δέκτες τοποθετούνται στο μπροστινό μέρος του οχήματος αντιδιαμετρικά.



Εικόνα 8.1: Ρομποτικό όχημα reDevil

Μήκος	62,2 cm
Πλάτος	53,3 cm
Ύψος	45 cm
Βάρος	38.6 kg
Ταχύτητα	0-1.5 m/sec
Ωφέλιμο φορτίο	9 kg
Χρόνος λειτουργίας	3-6 hr, εξαρτάται από το έδαφος
Κίνηση	4-wheel, PWM
Κατεύθυνση	Skid Steering
Γωνία στροφής	0 (στρίβει στο κέντρο)
Συσσωρευτές	2x12V, 12 amp/hr
Σύστημα ελέγχου	Beagle Bone Black
Κινητήρες	2x0.10 HP, 24V DC servo motors

Πίνακας 8.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά του reDevil



Εικόνα 8.2 : Πομπός και δέκτες

Το βασικό πρόβλημα κατά την τοποθέτηση των δεκτών ήταν ότι το μέταλλο του οχήματος επηρέαζε τις μετρήσεις τους. Με στόχο λοιπόν την κατά το δυνατό απομάκρυνση των δεκτών από το σώμα του οχήματος, οι δέκτες απομακρύνθηκαν κατά 60 cm από το όχημα με τη βοήθεια μεταλλικών ράβδων. Επίσης για την ασφάλεια και σταθερότητα των κεραιών αλλά και την αποφυγή της επαφής τους με μεταλλικές επιφάνειες κρίθηκε απαραίτητο να

σχεδιασθούν και να εκτυπωθούν πλαστικές βάσεις μέσα στις οποίες τοποθετήθηκαν οι πομποδέκτες όπως φαίνεται στην εικόνα 8.3.



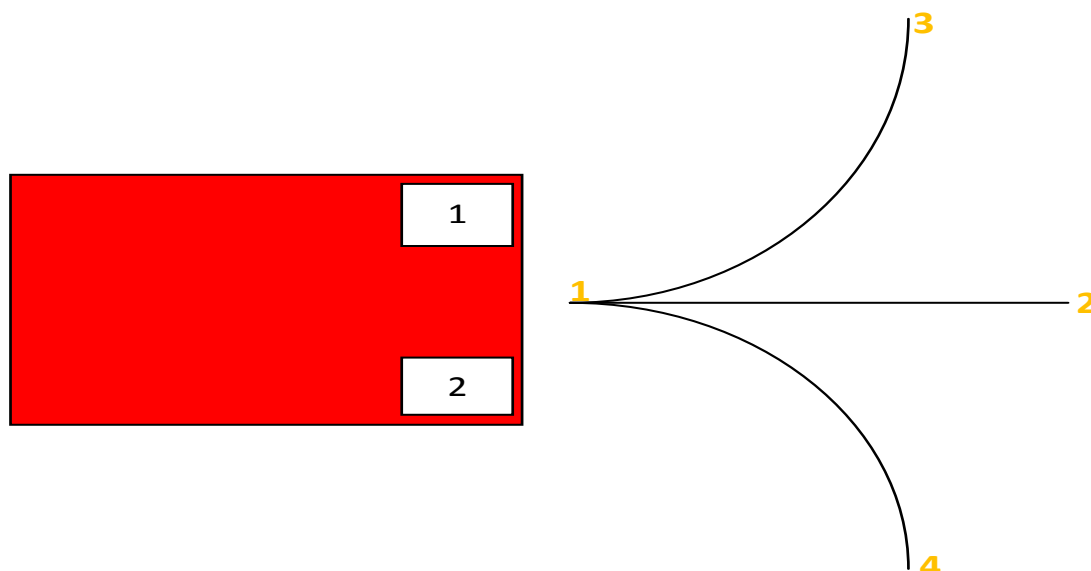
Εικόνα 8.3: Πλαστικές βάσεις

Τέλος ο ελεγκτής του ρομποτικού οχήματος reDevil είναι ο beagle bone black (BBB) της εταιρίας Texas Instrument σε συνεργασία με τις εταιρείες Digi-Key και Newark element [4]. Για τις ανάγκες της διπλωματικής χρησιμοποιήθηκαν δυο από τις πέντε σειριακές θύρες του BBB, μια για κάθε πομποδέκτη, ενώ η τροφοδοσία που απαιτούνταν παρέχόταν απευθείας από τους δυο συσσωρευτές μολύβδου (Lead-acid) 12V του ρομπότ.

Κεφάλαιο 9: Περιγραφή πειραμάτων για την προσομοίωση της κίνησης του χρήστη και προτάσεις βελτίωσης του αποτελέσματος

9.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τη συμπεριφορά των κεραιών και θα καταγράψουμε τις απαραίτητες μετρήσεις για την υλοποίηση του προγράμματος με το οποίο θα λειτουργεί η βάση μεταφοράς. Πραγματοποιήθηκαν τρία πειράματα για την προσομοίωση κάθε πιθανής πορείας του χρήστη. Στο πρώτο προσομοιώνεται η απομάκρυνση του χρήστη από τη βάση, στο δεύτερο η κίνηση του χρήστη προς τα δεξιά και στο τρίτο η κίνηση του χρήστη προς τα αριστερά. Με αυτό το τρόπο θα καταγράψουμε τις πληροφορίες τις οποίες έχει η βάση στη διάθεση της για να ακολουθήσει το χρήστη. Πιο συγκεκριμένα τα παρακάτω πειράματα αποσκοπούν στην καταγραφή της έντασης του σήματος από κάθε δέκτη κατά τη διάρκεια της πορείας του, αλλά και της διαφοράς της έντασης του σήματος ανάμεσα στους δύο δέκτες. Η διαφορά των δυο μετρήσεων καταγράφηκε λόγω της αδυναμίας που παρατηρήθηκε στο reDevil να στρίβει ικανοποιητικά όταν εφαρμόζονται στους τροχούς του διαφορετικές ταχύτητες. Ανάλογα λοιπόν με την διαφορά των μετρήσεων το όχημα θα στρίβει επιτόπια μπλοκάροντας τον ένα τροχό και επιταχύνοντας τον άλλο, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 10. Και στα τρία πειράματα η διαδικασία ξεκίνησε με το πομπό στη θέση 1 της εικόνας 9.1, δηλαδή τη θέση αναφοράς του χρήστη, ο οποίος ακολουθούσε καμπύλη πορεία έως ότου βρεθεί στα σημεία 3 και 4.

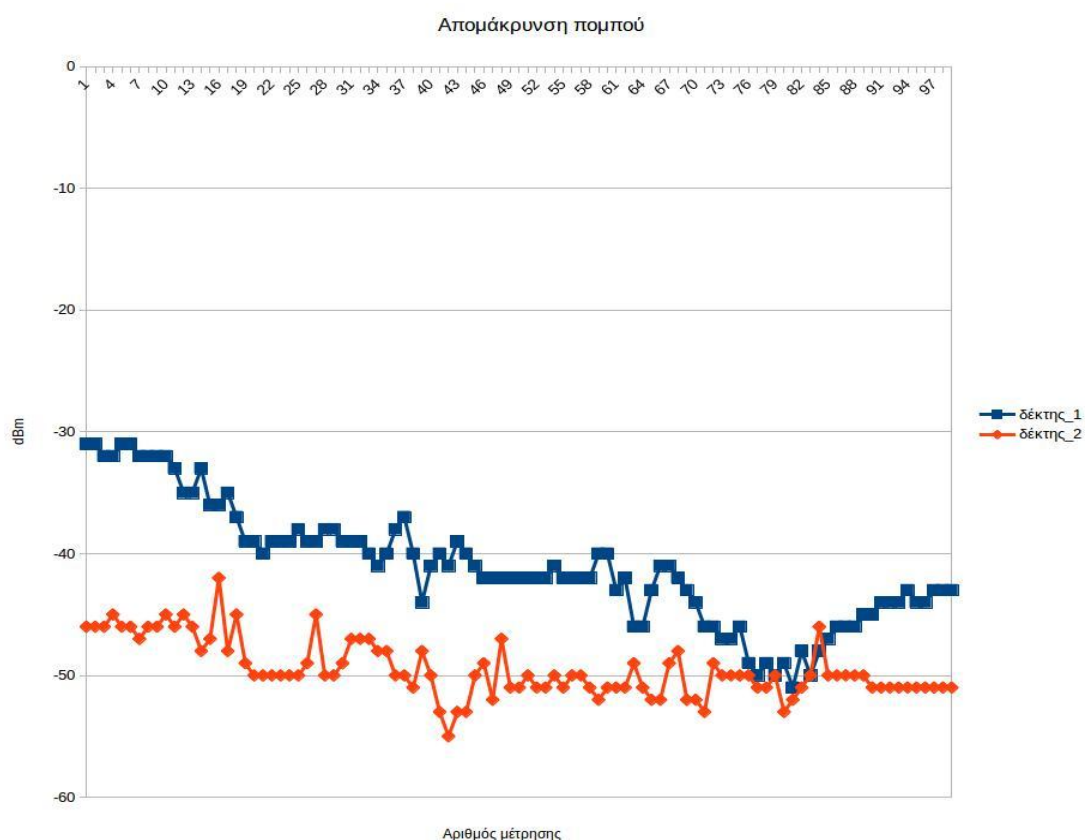


Εικόνα 9.1: Πιθανές διαδρομές του χρήστη

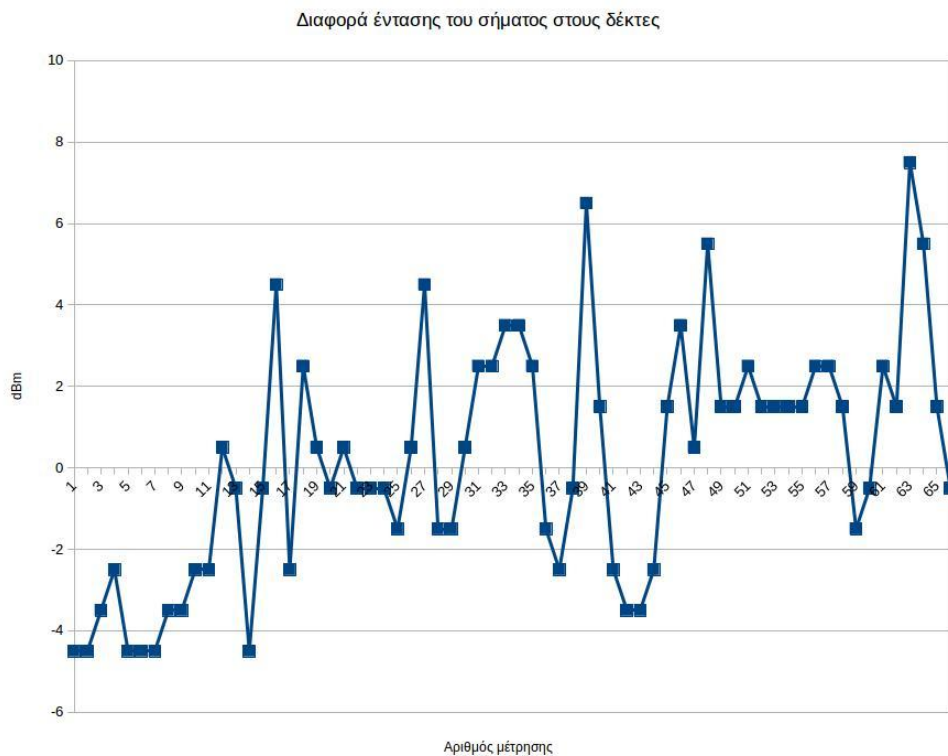
9.2 Πείραμα πρώτο: Απομάκρυνση χρήστη από τη βάση

Στο πρώτο πείραμα προσημειώνεται η απομάκρυνση του χρήστη από τη βάση, δηλαδή η διαδρομή 1-2 της εικόνας 9.1. Στο διάγραμμα 9.1 φαίνονται οι τιμές της έντασης του σήματος και στο διάγραμμα 9.2 φαίνεται η διαφορά των μετρήσεων. Όπως παρατηρούμε οι μετρήσεις που μας δίνουν οι δέκτες έχουν μια διαφορά ακόμα και όταν ο πομπός ισαπέχει από αυτές. Αυτή η διαφορά μετριέται πειραματικά και ισούται κατά μέσω όρο με 10,6 dBm. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω για να παρατηρήσουμε καλύτερα την πορεία των μετρήσεων μετατοπίζουμε τις μετρήσεις της δεύτερου δέκτη κατά 10,6 dBm όσο είναι δηλαδή η μέση διαφορά τους (διάγραμμα 9.3). Η μέτρηση της διαφοράς της έντασης του σήματος ανάμεσα στους δυο δέκτες υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη σταθερή τους διαφορά ως εξής:

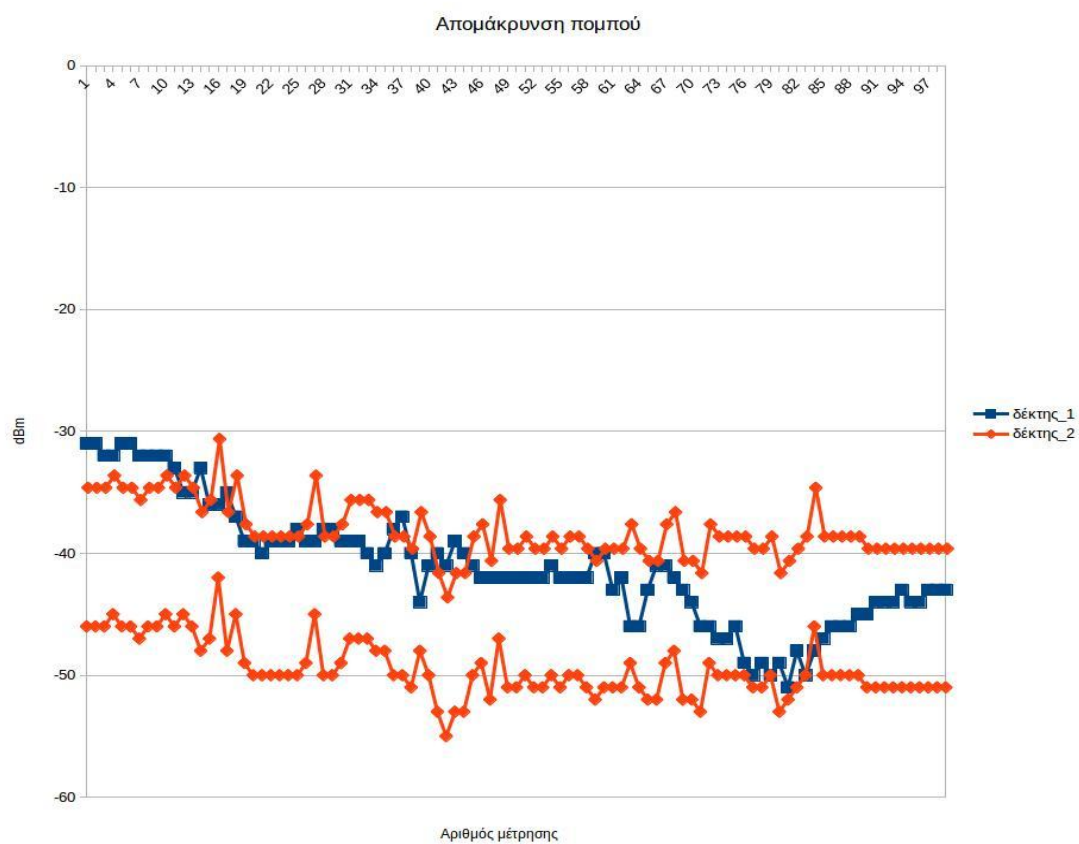
$$\text{Διαφορά} = \text{ένταση δέκτη2} + 10,6 \text{ dBm} - \text{ένταση δέκτη1}$$



Διάγραμμα 9.1: Απομάκρυνση πομπού



Διάγραμμα 9.2: Διαφορά έντασης σήματος στους δέκτες κατά την απομάκρυνση



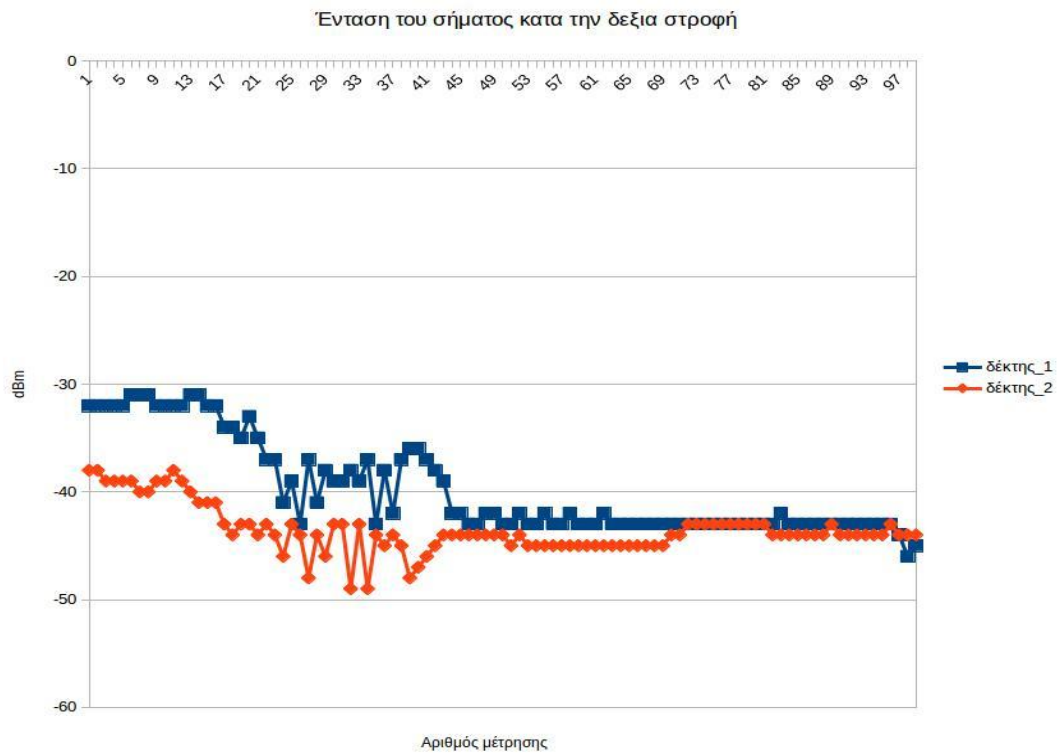
Διάγραμμα 9.3: Μετατόπιση των μετρήσεων του δεύτερου δέκτη στην απομάκρυνση

Κατά τη διαδικασία του πειράματος λάβαμε 100 μετρήσεις και ο πομπός απομακρύνθηκε έως τα 2 μέτρα. Σύμφωνα με την προηγούμενη ανάλυση που κάναμε (Κεφάλαιο 7), οι δέκτες λαμβάνουν αξιόπιστες μετρήσεις σε αποστάσεις μέχρι τα 80 cm κάτι που φαίνεται και σε αυτές τις μετρήσεις. Στις πρώτες 57 μετρήσεις οι δέκτες συμπεριφέρονται σωστά, δηλαδή όσο απομακρύνεται ο πομπός οι τιμές της έντασης του σήματος φθίνουν. Στις επόμενες μετρήσεις οι τιμές της έντασης του σήματος αρχίζουν να μην αντιπροσωπεύουν την πραγματικότητα. Επιπλέον παρατηρούμε μια σχεδόν σταθερή διαφορά ανάμεσα στις τιμές των δυο δεκτών για την περιοχή που μας ενδιαφέρει. Στην ιδανική περίπτωση θα έπρεπε οι δυο γραμμές του διαγράμματος 9.3 να συμπίπτουν αφού ο πομπός απομακρύνεται και από τους δυο δέκτες το ίδιο. Στην πραγματικότητα όμως βλέπουμε ότι αυτή η υπόθεση δεν ισχύει. Αυτό συμβαίνει λόγω των πολλών ανακλάσεων που υπάρχουν στους εσωτερικούς χώρους, οι οποίες είναι διαφορετικές στους δύο δέκτες και οι οποίες αλλάζουν καθώς ο πομπός αλλάζει θέση. Συνεπώς, είναι απόλυτα λογικό η διακύμανση να αλλάζει όσο αλλάζει η απόσταση πομπού και δέκτη, γεγονός που πρέπει να ληφθεί υπόψη στον προγραμματισμό.

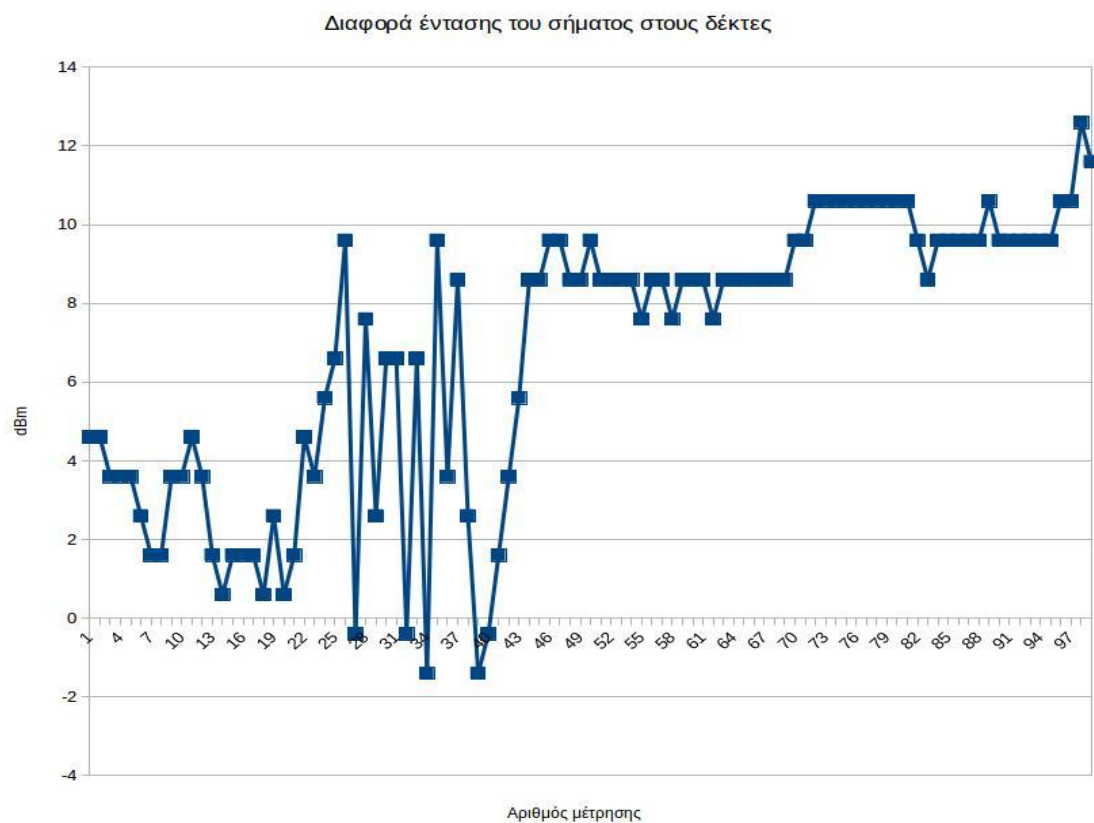
Παρατηρώντας το διάγραμμα 9.2 με τις διαφορές των μετρήσεων των δυο δεκτών για την περιοχή που μας ενδιαφέρει, δηλαδή τις πρώτες 57 μετρήσεις, συμπεραίνουμε ότι η διαφορά τους κατά την απομάκρυνση του πομπού κυμαίνεται από -4.5 dBm μέχρι +6.5 dBm, με το 82% των μετρήσεων να περιορίζεται ανάμεσα στα -4 dBm έως 4 dBm.

9.3 Πείραμα δεύτερο: Κίνηση του χρήστη προς τα δεξιά

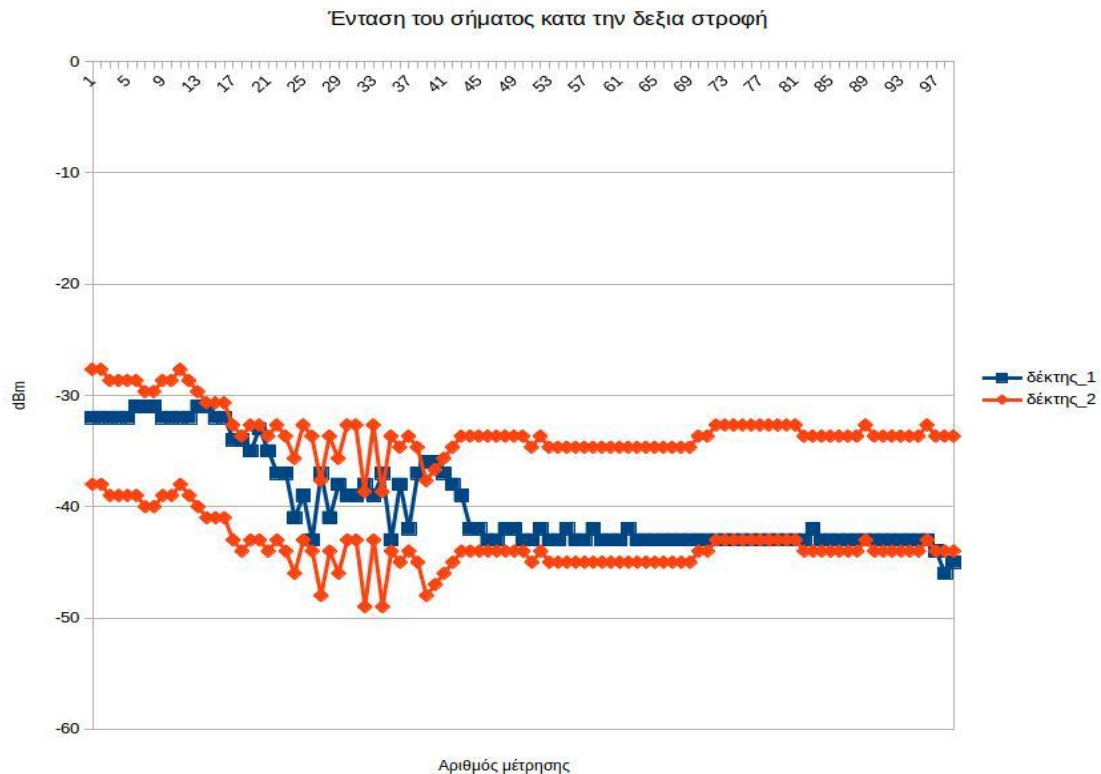
Στο δεύτερο πείραμα προσημειώνεται η κίνηση του χρήστη προς τα δεξιά, δηλαδή η διαδρομή 1-4 της εικόνας 9.1. Στην ιδανική περίπτωση, η διαφορά της έντασης του σήματος θα έπρεπε να αυξάνεται καθώς ο πομπός μετακινείται προς τα δεξιά αφού απομακρύνεται περισσότερο από τον ένα δέκτη σε σχέση με τον άλλον. Στο διάγραμμα 9.4 φαίνονται οι μετρήσεις της έντασης του σήματος για τους δυο δέκτες καθώς ο πομπός κατευθύνεται προς τα δεξιά. Στο διάγραμμα 9.5 φαίνεται η διαφορά των μετρήσεων και στο διάγραμμα 9.6 φαίνονται οι μετρήσεις των δυο δεκτών με μετατοπισμένες τις μετρήσεις του δεύτερου δέκτη κατά τη σταθερά 10,6 dBm.



Διάγραμμα 9.4: Δεξιά στροφή πομπού



Διάγραμμα 9.5: Διαφορά έντασης σήματος στους δέκτες κατά τη δεξιά στροφή



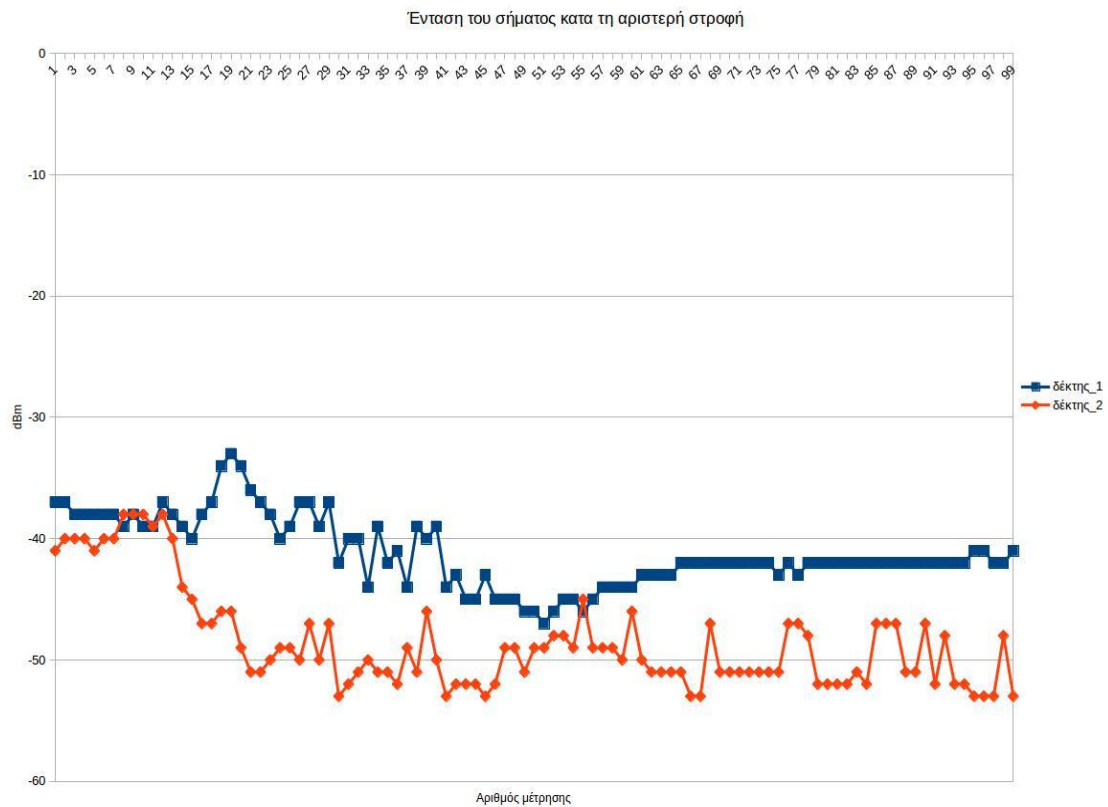
Διάγραμμα 9.6: Μετατόπιση των μετρήσεων του δεύτερου δέκτη στη δεξιά στροφή

Η συμπεριφορά της έντασης του σήματος είναι απόλυτα αντιπροσωπευτική της αρχικής υπόθεσης, δηλαδή η διαφορά της έντασης του σήματος αυξάνεται καθώς ο πομπός μετακινείται προς τα δεξιά (διάγραμμα 9.6).

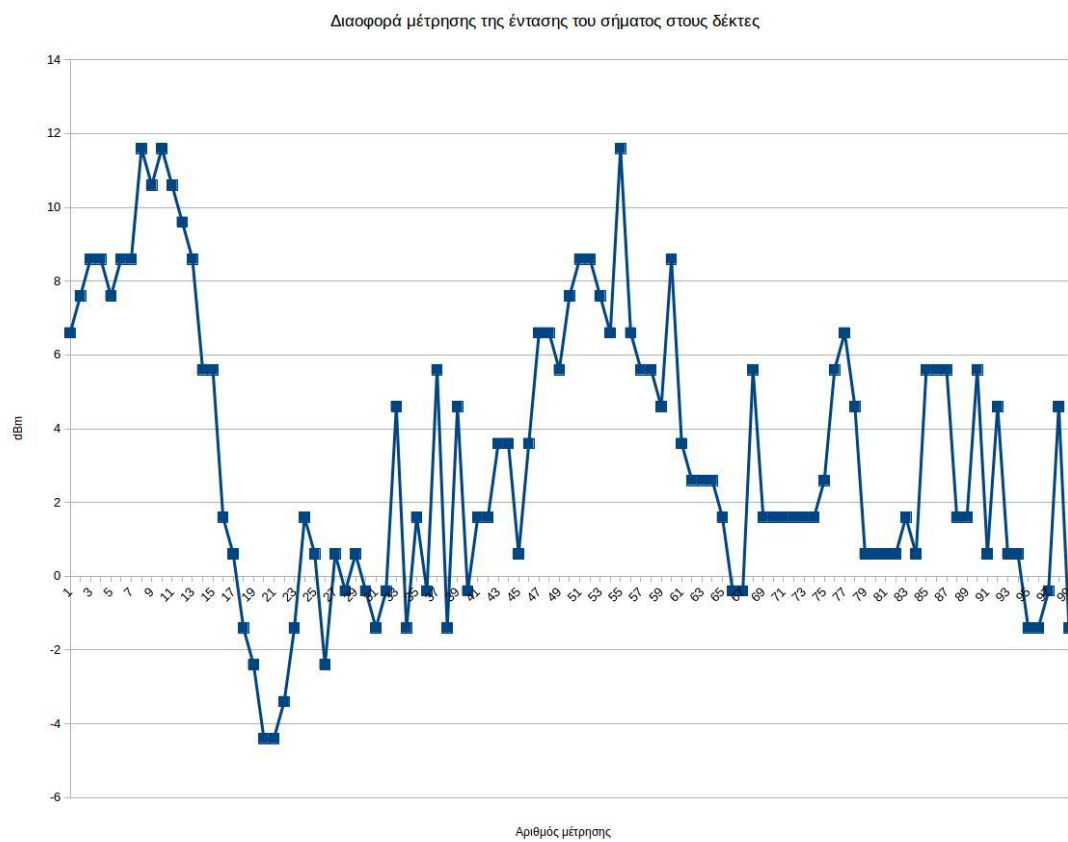
Επίσης από το διάγραμμα 9.5 με τις διαφορές των μετρήσεων παρατηρούμε ότι η διαφορά της έντασης του σήματος των δυο δεκτών είναι μεγαλύτερη των 7 dBm όταν ο πομπός έχει προσεγγίσει τη θέση 4 και γενικότερα το 88% των μετρήσεων είναι μεγαλύτερο των 4 dBm κατά τη διάρκεια της κίνησης του.

9.4 Πείραμα τρίτο: Κίνηση του χρήστη προς τα αριστερά

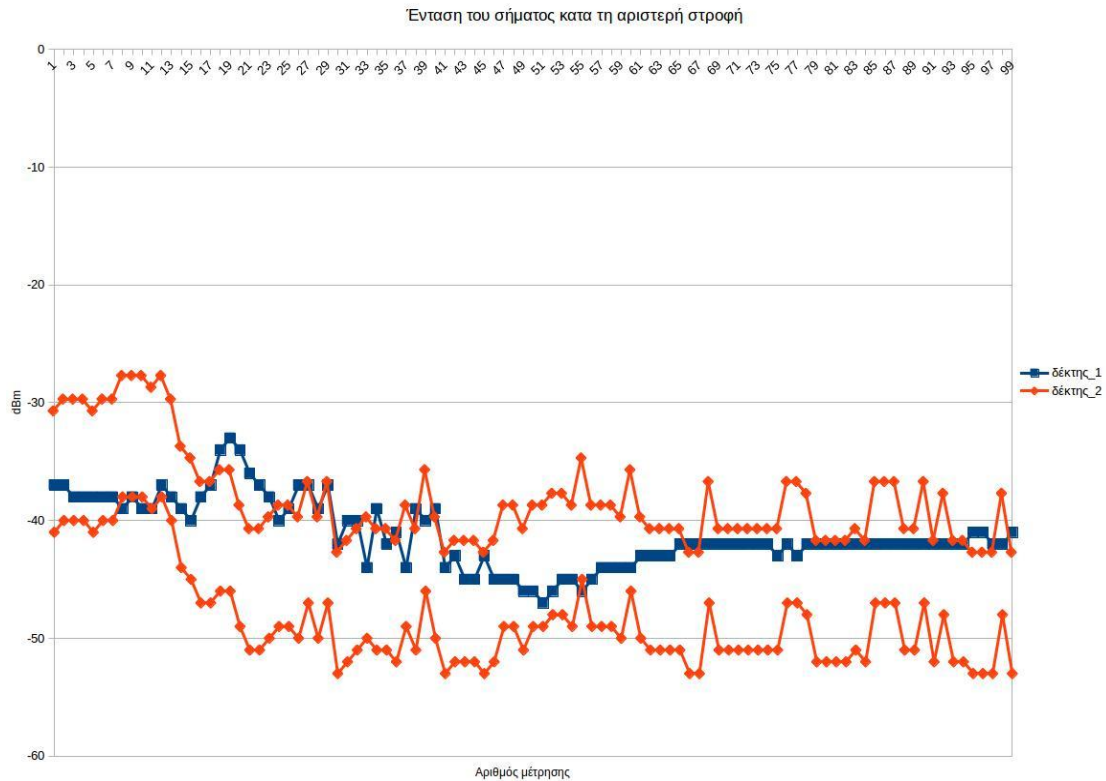
Στο τρίτο πείραμα προσημειώνεται η κίνηση του χρήστη προς τα αριστερά, δηλαδή η διαδρομή 1-3 της εικόνας 9.1. Όπως και κατά τη δεξιά μετατόπιση του πομπού έτσι και στην αριστερή ο πομπός απομακρύνεται περισσότερο από τον ένα δέκτη σε σχέση με τον άλλο, συνεπώς περιμένουμε και πάλι να δούμε αύξηση της διαφοράς των μετρήσεων των δυο δεκτών αλλά αυτή τη φορά προς τα αρνητικά, αφού η ένταση του δέκτη 1 είναι μικρότερη από αυτή του δέκτη 2. Στο διάγραμμα 9.7 φαίνονται οι μετρήσεις της έντασης του σήματος για τους δυο δέκτες καθώς ο πομπός κατευθύνεται προς τα αριστερά. Στο διάγραμμα 9.8 φαίνεται η διαφορά των μετρήσεων και στο διάγραμμα 9.9 φαίνονται οι μετρήσεις των δυο δεκτών με μετατοπισμένες τις μετρήσεις του δεύτερου δέκτη κατά τη σταθερά 10,6 dBm.



Διάγραμμα 9.7: Αριστερή στροφή πομπού



Διάγραμμα 9.8: Διαφορά έντασης σήματος στους δέκτες κατά την αριστερή στροφή



Διάγραμμα 9.9: Μετατόπιση των μετρήσεων του δεύτερου δέκτη στην αριστερή στροφή

Στην περίπτωση της αριστερής στροφής η συμπεριφορά της έντασης του σήματος δεν είναι οι επιθυμητή. Παρατηρούμε μια αυξητική τάση της διαφοράς, προς τα αρνητικά, η οποία όμως δε παραμένει καθόλου σταθερή.

Δεδομένης της μορφής του πειράματος, δηλαδή του τρόπου με τον οποίο ο πομπός προσεγγίζει το σημείο 4, συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μόνο μια μικρή περιοχή – τμήμα της καμπύλης πορείας του πομπού στην οποία η βάση μεταφοράς θα αντιλαμβάνεται ότι ο χρήστης κατευθύνεται αριστερά. Σε όλη την υπόλοιπη διαδρομή η βάση θα προχωράει ευθεία ή θα στρίβει δεξιά.

9.5 Σύνοψη συμπερασμάτων

- Η διαφορά της έντασης του σήματος κυμαίνεται από -4 dBm έως +4 dBm, όταν ο πομπός κινείται ευθεία.
- Η διαφορά της έντασης του σήματος είναι μεγαλύτερη των +4 dBm όταν ο πομπός κατευθύνεται προς τα δεξιά.
- Η διαφορά της έντασης του σήματος είναι μικρότερη των -4 dBm μόνο σε μια μικρή περιοχή όταν ο πομπός κατευθύνεται προς τα αριστερά.
- Όταν ο πομπός βρίσκεται στις θέσεις 2,3 και 4 η ένταση του σήματος μειώνεται περίπου κατά 10 dBm σε σχέση με την αρχική του θέση.

9.6 Αποτελέσματα

Λόγω της μη επιθυμητής συμπεριφοράς της έντασης του σήματος κατά την αριστερή στροφή η βάση μεταφοράς θα έχει περιορισμένες δυνατότητες αντίληψης της κίνησης του χρήστη όταν αυτός κινείται προς αυτή τη κατεύθυνση. Οι προβληματικές μετρήσεις της έντασης του σήματος από τη μια μόνο πλευρά του οχήματος δηλώνουν είτε ότι η ένταση του σήματος δεν είναι συμμετρική στο χώρο, είτε, πιο πιθανόν, ότι δημιουργούνται ανεπιθύμητες ανακλάσεις σε εκείνη την περιοχή από κάποιο αντικείμενο στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 10: Περιγραφή του κώδικα λειτουργίας του reDevil

10.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο η βάση μεταφοράς ακολουθεί το χρήστη της, οι επιθυμητές απαιτήσεις και οι περιορισμοί που υπάρχουν στον προγραμματισμό.

Ο προγραμματισμός της βάσης μεταφοράς έγινε χρησιμοποιώντας τη πλατφόρμα του beagle bone black του ρομποτικού οχήματος reDevil, του εργαστηρίου Ευφύων Συστημάτων και Ρομποτικής της σχολής ΜΠΔ του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε γλώσσα C++.

10.2 Απαιτήσεις και περιορισμοί

Οι απαιτήσεις της βάσης μεταφοράς είναι οι παρακάτω:

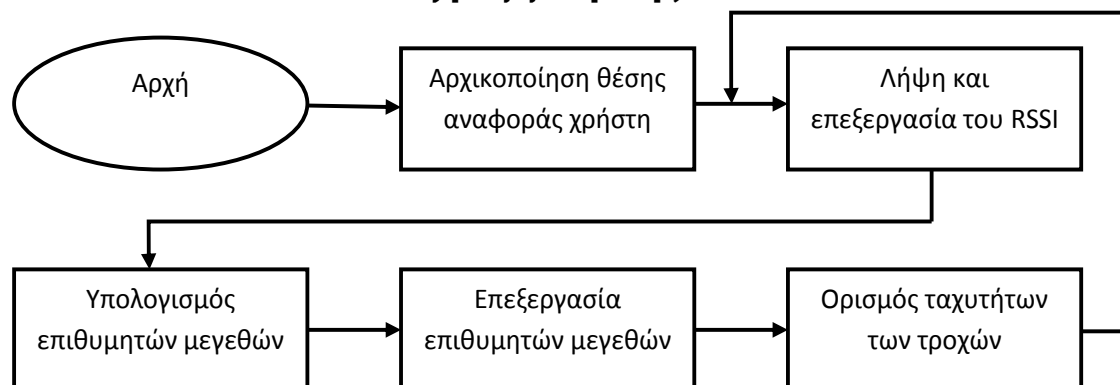
- Ο χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα αρχικοποίησης της θέσης αναφοράς του.
- Όταν ο χρήστης παραμένει στη θέση αναφοράς του, δηλαδή στη θέση που επιθυμεί να τον ακολουθεί η βάση μεταφοράς, η βάση θα παραμένει ακίνητη.
- Όταν ο χρήστης απομακρύνεται από τη βάση, αυτή θα κινείται μπροστά επιταχύνοντας ανάλογα με την απόσταση που απομακρύνθηκε από αυτήν ο χρήστης.
- Όταν ο χρήστης πλησιάζει τη βάση, αυτή θα κινείται προς τα πίσω επιταχύνοντας ανάλογα με την απόσταση που πλησίασε ο χρήστης.
- Όταν ο χρήστης στρίβει αριστερά η βάση θα στρίβει αριστερά.
- Όταν ο χρήστης στρίβει δεξιά η βάση θα στρίβει δεξιά.

Οι περιορισμοί στον προγραμματισμό είναι οι παρακάτω:

- Ο χρήστης δε θα πρέπει να απομακρύνεται περισσότερο από 80 cm από τη βάση.
- Η βάση μεταφοράς θα έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται την αριστερή στροφή μόνο με σε ένα μικρό πεδίο της αριστερής κίνησης του χρήστη.

10.3 Διαγράμματα ροής και επεξήγηση του κώδικα λειτουργίας της βάσης

10.3.1 Συνοπτικό διάγραμμα ροής του κώδικα

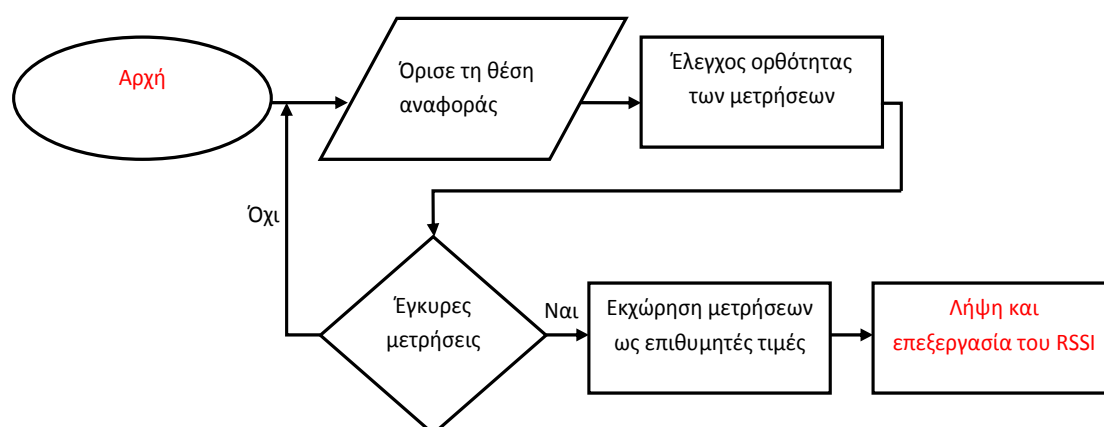


Διάγραμμα 10.1: Γενικό διάγραμμα ροής του κώδικα

10.3.2 Περιγραφή γενικού διαγράμματος ροής

1. Αρχικοποίηση θέσης αναφοράς του χρήστη

Αρχικά ο χρήστης θα πρέπει να αρχικοποιεί τη θέση αναφοράς του, δηλαδή να πηγαίνει μπροστά από τη βάση μεταφοράς στην απόσταση που αυτός επιθυμεί να τον ακολουθεί και να την ορίζει, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή του κινητού του, ως θέση αναφοράς. Μετά από αυτό το βήμα η βάση μεταφοράς θα πρέπει να είναι ικανή να τον ακολουθεί.



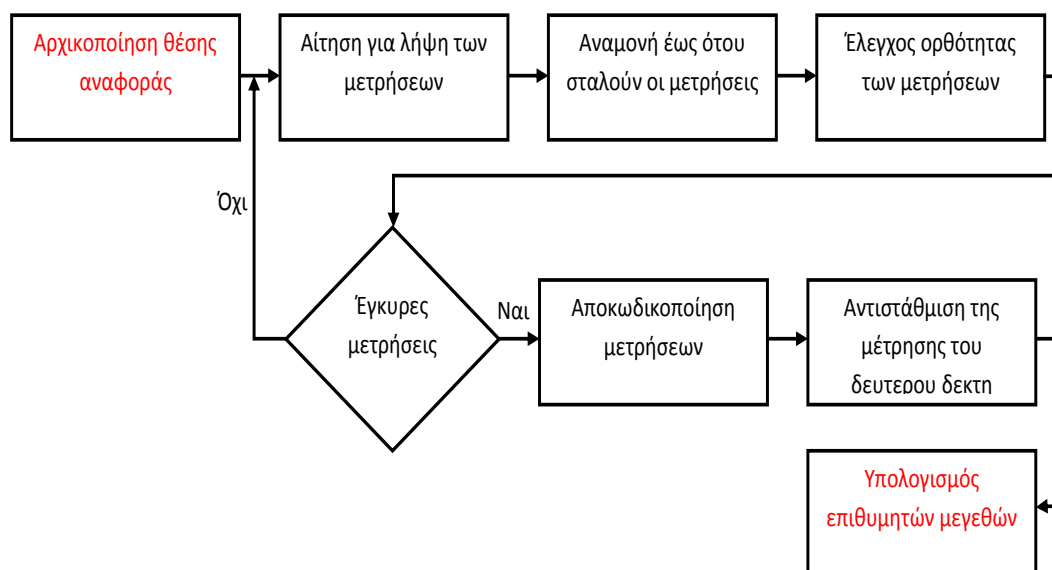
Διάγραμμα 10.2: Αρχικοποίηση της θέσης αναφοράς του χρήστη

Στη συνέχεια επαναλαμβάνονται οι παρακάτω διαδικασίες:

2. Λήψη και επεξεργασία του RSSI

Σε αυτό το βήμα οι δέκτες ζητούν ο καθένας ξεχωριστά από το πομπό να τους στείλει την ένταση του σήματος, αναμένουν έως ότου σταλεί η μέτρηση και έπειτα ελέγχουν την ορθότητα τους. Εάν οι μέτρησεις είναι έγκυρες η διαδικασία συνεχίζεται αποκωδικοποιώντας τις μετρήσεις (αλφαριθμητικές) έτσι ώστε να έχουμε στη διάθεση μας την ένταση του σήματος σε μορφή αριθμού και τέλος αντισταθμίζεται η μέτρηση του

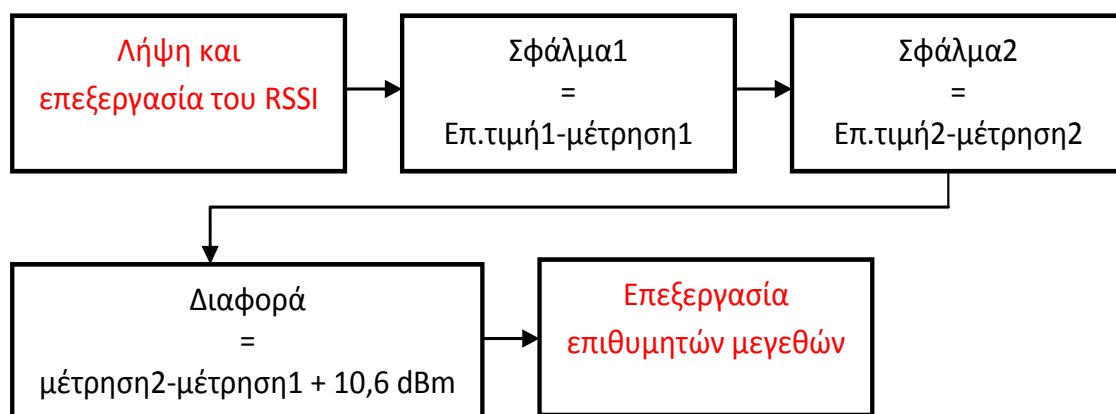
δεύτερου δέκτη προσθέτοντας τη μέση διαφορά των 10,6 dBm όπως αναφέρετε στο κεφάλαιο 9. Σε αντίθετη περίπτωση οι δέκτες ζητούν ξανά νέες μετρήσεις έως ότου σταλούν έγκυρες.



Διάγραμμα 10.3: Διάγραμμα ροής «Λήψη και επεξεργασία του RSSI»

3. Υπολογισμός επιθυμητών μεγεθών

Για τον υπολογισμό της μετακίνησης του χρήστη είναι απαραίτητο να υπολογιστούν κάποια μεγέθη τα οποία είναι ενδεικτικά αυτής της μετακίνησης. Συγκεκριμένα, απαιτείται ο υπολογισμός του σφάλματος για κάθε μέτρηση ξεχωριστά, δηλαδή της διαφοράς της έντασης του σήματος που λαμβάνει ο δέκτης τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή σε σχέση με αυτή που λάμβανε στη θέση αναφοράς και ο υπολογισμός της διαφοράς των μετρήσεων των δυο δεκτών (χρησιμοποιώντας την αντισταθμισμένη μέτρηση του δεύτερου δέκτη).



Διάγραμμα 10.4: Διάγραμμα ροής «Υπολογισμός επιθυμητών μεγεθών»

4. Επεξεργασία επιθυμητών μεγεθών

Έχοντας πλέον γνώση του σφάλματος μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα με την οποία θα κινείται η βάση μεταφοράς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιήσουμε ένα αναλογικό ελεγκτή για τη ταχύτητα, δηλαδή η ταχύτητα των τροχών θα αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της απόστασης. Όπως έχουμε παρατηρήσει στο κεφάλαιο 7 και

στο κεφάλαιο 9 οι δυο δέκτες δε λαμβάνουν ακριβώς την ίδια μέτρηση όταν ο χρήστης κινείται ευθεία. Για να ορίσουμε λοιπόν την επιτάχυνση των τροχών στην ευθεία κίνηση θα βρούμε την επιτάχυνση κάθε τροχού ανάλογα με την μέτρηση του αντιστοίχου δέκτη και έπειτα θα υπολογίσουμε τον μέσο όρο της επιτάχυνσης, τον οποίο θα ορίσουμε ως μέση επιτάχυνση των τροχών στην ευθεία. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης ο έλεγχος της ταχύτητας περιορίζεται για λόγους ασφαλείας. Ορίζουμε λοιπόν τη μέγιστη επιτάχυνση στο 0.5%. Πιο συγκεκριμένα οι τροχοί θα έχουν τη δυνατότητα να επιταχύνουν από 0 έως 0.5 % ανάλογα με την απόσταση της βάσης από το χρήστη. Λόγω του βάρους του αλλά και της τριβής αδρανείας, το reDevil δεν κινείται καθόλου για επιτάχυνση από 0-0.2%. Ορίζουμε λοιπόν την επιτάχυνση 0.2% ως επιτάχυνση εκκίνησης. Είναι σημαντικό ότι όταν οι τροχοί έχουν επιτάχυνση 0.2% παραμένουν ακίνητοι. Πειραματικά παρατηρήθηκε ότι το όχημα αντιδράει καλύτερα στις μεταβολές της θέσης του χρήστη όταν αντί για μηδενική ταχύτητα έχει την ταχύτητα εκκίνησης όταν πρέπει να παραμένει ακίνητο. Αυτό συμβαίνει διότι στη δεύτερη περίπτωση το όχημα είναι έτοιμο να προχωρήσει σε αντίθεση με την πρώτη στην οποία πρέπει πρώτα να υπερνικήσει την τριβή αδρανείας. Για την εύρεση της αναλογίας μεταξύ αύξησης απόστασης και επιτάχυνσης των τροχών χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση $\tanh()$ η οποία δεχόταν ως όρισμα τα δυο πεδία τιμών, δηλαδή την ελάχιστη και τη μέγιστη επιθυμητή τιμή τους αλλά και την μέτρηση της έντασης του σήματος για την οποία επιθυμούμε να βρούμε την αντίστοιχη επιτάχυνση. Η συνάρτηση επιστρέφει την αντίστοιχη τιμή της επιτάχυνση μέσω της παρακάτω σχέσης [6]:

$$Y = \frac{(X - in_{min}) * (out_{max} - out_{min})}{(in_{max} - in_{min})} + out_{min}$$

Όπου,

Y : η τιμή της επιτάχυνσης που αντιστοιχεί στην τιμή X

X : η τιμή του σφάλματος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

in_{min} : η ελάχιστη τιμή του πεδίου από το οποίο είναι η τιμή X .

in_{max} : η μέγιστη τιμή του πεδίου από το οποίο είναι η τιμή X .

out_{min} : η ελάχιστη τιμή του πεδίου από το οποίο είναι η τιμή Y .

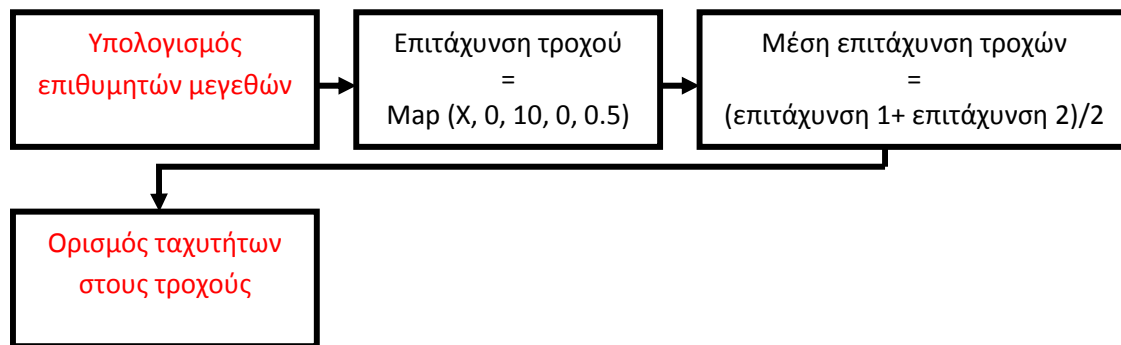
out_{max} : η μέγιστη τιμή του πεδίου από το οποίο είναι η τιμή Y .

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή τα παραπάνω πεδία τιμών ήταν τα εξής:

Πεδίο τιμών σφάλματος: [0 dBm-10 dBm].

Πεδίο τιμών επιτάχυνσης: [0 %-0.5 %].

Όσον αφορά το πεδίο τιμών του σφάλματος, επιλέχθηκε το συγκεκριμένο έτσι ώστε η βάση μεταφοράς να κινείται με μέγιστη ταχύτητα όταν ο πομπός βρίσκεται στη μέγιστη επιτρεπτή απόσταση, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 7.



Διάγραμμα 10.5: Διάγραμμα ροής «Επεξεργασία επιθυμητών μεγεθών»

5. Ορισμός ταχυτήτων στους τροχούς

Για να ορίσουμε τις ταχύτητες των δυο τροχών θα χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα που έχουμε από τα σφάλματα και τη διαφορά των μετρήσεων. Αρχικά για να αναγνωρίσει η βάση μεταφοράς αν ο χρήστης πλησιάζει ή αν απομακρύνεται από αυτήν θα χρησιμοποιήσουμε την τιμή του σφάλματος. Αν ο χρήστης πλησιάζει τη βάση τότε η ένταση του σήματος θα είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή τιμή, δηλαδή την τιμή στη θέση αναφοράς. Αντίθετα όταν ο χρήστης απομακρύνεται η ένταση του σήματος θα είναι μικρότερη από την επιθυμητή. Γνωρίζουμε επίσης ότι το σφάλμα υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{σφάλμα} = \text{επιθ. τιμή} - \text{μέτρηση}$$

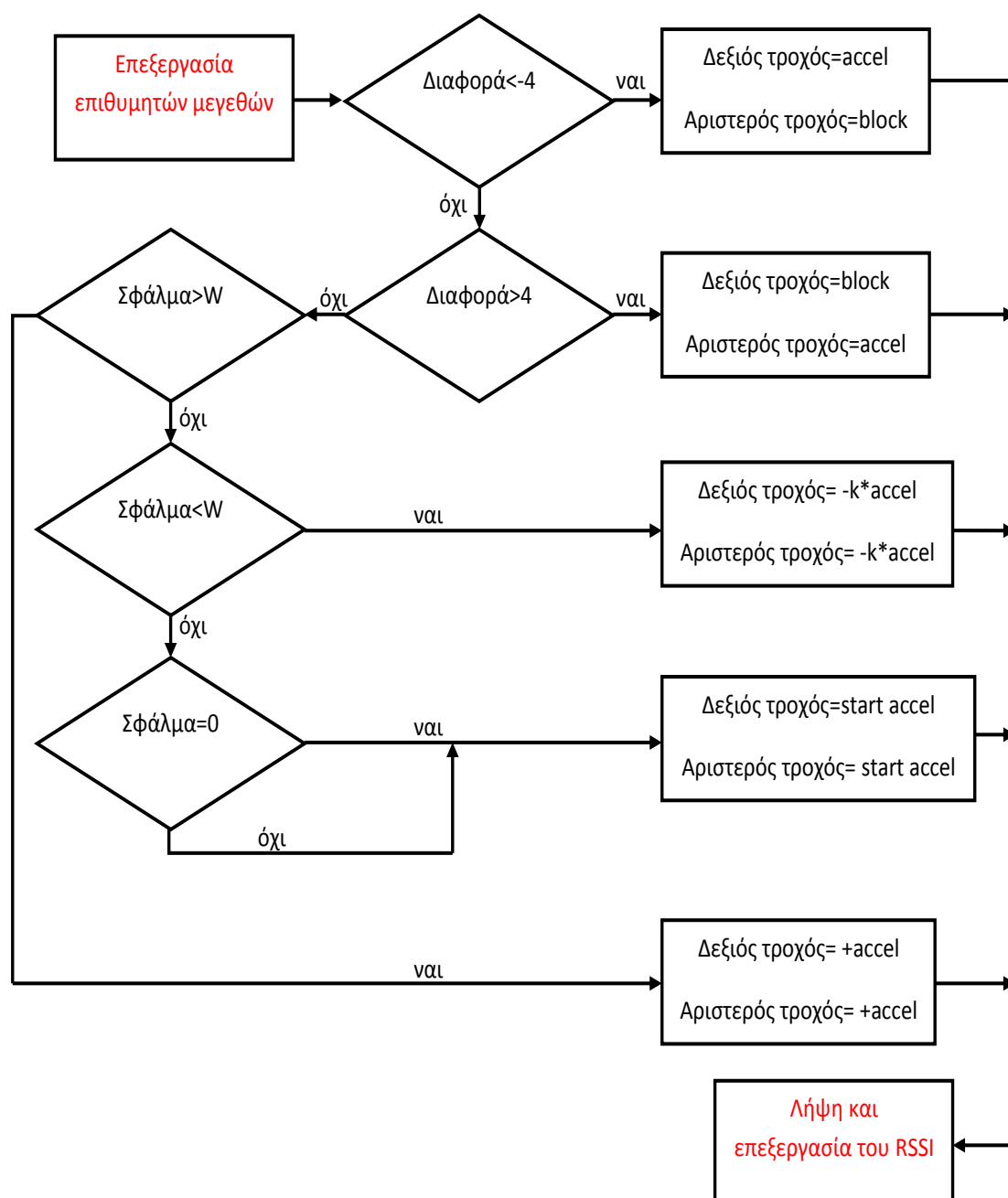
Με τα παραπάνω δεδομένα καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όταν το σφάλμα είναι θετικό ο χρήστης απομακρύνεται από τη βάση ενώ όταν το σφάλμα είναι αρνητικό ο χρήστης πλησιάζει τη βάση. Επίσης θέλοντας να δώσουμε ένα περιθώριο κίνησης στο χρήστη και να εξαλείψουμε τις περιττές κινήσεις της βάσης, ορίζουμε ένα κατώφλι (window) στο οποίο η βάση δε θα μετακινείται. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή το κατώφλι έχει την τιμή 1dBm, δηλαδή όταν ο χρήστης βρίσκεται στη θέση αναφοράς $\pm 1\text{dBm}$ η βάση θα παραμένει ακίνητη.

Αμέσως επόμενο βήμα είναι η αναγνώριση της πορείας του χρήστη, δηλαδή αν κινείται ευθεία ή αν στρίβει. Από το κεφάλαιο 9 γνωρίζουμε ότι αν η διαφορά στις μετρήσεις των δεκτών είναι ανάμεσα στο -4 dBm και +4 dBm τότε ο χρήστης κινείται ευθεία. Αν η διαφορά είναι μεγαλύτερη των +4 dBm στρίβει δεξιά, ενώ αν είναι μικρότερη των -4 dBm στρίβει αριστερά.

Σύμφωνα με τα παραπάνω όταν η διαφορά είναι μικροτερη-4 ακινητοποιούμε τον αριστερό τροχό και επιταχύνουμε τον δεξιό τροχό, όταν η διαφορά είναι μεγαλύτερη του +4 ακινητοποιούμε τον δεξιό τροχό και επιταχύνουμε τον αριστερό. Τέλος όταν η διαφορά είναι ανάμεσα στο -4 και το +4 ελέγχουμε αν το σφάλμα είναι θετικό ή αρνητικό και επιταχύνουμε ανάλογα τους τροχούς reDevil.

Όσον αφορά την κίνηση προς τα πίσω υπάρχει μια διαφορά. Το σημείο που ο χρήστης ορίζει ως θέση αναφοράς βρίσκεται αρκετά κοντά στη βάση με αποτέλεσμα όταν ο χρήστης κινείται προς τα πίσω να μην υπάρχει σημαντική αύξηση της έντασης του σήματος. Αποτέλεσμα είναι να μην υπάρχει η ανάλογη επιτάχυνση προς τα πίσω. Για την

αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, όταν το reDevil εκτελεί οπισθοπορεία το ποσοστό επιτάχυνσης πολλαπλασιάζεται με ένα συντελεστή. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο συντελεστής ισούται με 2. Γενικότερα μπορεί να είναι μεταβλητός και να εξαρτάτε από την θέση αναφοράς. Όσο πιο κοντά στη βάση ορίζεται η θέση αναφοράς τόσο μεγαλύτερος θα είναι, ενώ όσο πιο μακριά ορίζεται η θέση αναφοράς από τη βάση τόσο πιο μικρός θα είναι. Η ιδανική θέση αναφοράς με το συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι τα 40 cm όπου μπορεί ο χρήστης να κινηθεί 40 cm πίσω και 40cm μπροστά έχοντας την ίδια αυξομείωση της έντασης. Σε αυτή τη περίπτωση ο συντελεστής ισούται με 1.



Διάγραμμα 10.6: Διάγραμμα ροής «Επεξεργασία επιθυμητών μεγεθών»

Όπου,

Start accel: επιτάχυνση εκκίνησης

accel: το άθροισμα της επιτάχυνσης εκκίνησης και της επιτάχυνσης λόγω απομάκρυνσης του χρήστη

k: συντελεστής οπισθοπορείας

block: εφαρμογή επιτάχυνσης εκκίνησης προς την αντίθετη κατεύθυνση με σκοπό το μπλοκάρισμα του τροχού

W: ανοχή μετακίνησης του χρήστη

10.4 Πρόταση βελτίωσης των αποτελεσμάτων με αισθητήρες υπερήχων

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι αισθητήρες υπερήχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως πομποί και ως δέκτες. Χρησιμοποιώντας λοιπόν δυο δέκτες υπερήχων και ένα πομπό υπερήχων όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 6 μπορούμε να μειώσουμε το πρόβλημα της παρούσας μεθόδου στη μη ικανοποιητική αντίληψη της στροφής του χρήστη. Για το συνδυασμό των μεθόδων αλλά και τη λειτουργία τους βάσει των προδιαγραφών που έχουν οριστεί στο κεφάλαιο 6 απαιτούνται κινητά τα οποία έχουν τη δυνατότητα παραγωγής υπερήχων.

Η παραγωγή υπερήχων από το κινητό έχει ήδη υλοποιηθεί μέσω της εφαρμογής arneaApp [7] που χρησιμοποιεί τους υπερήχους για τον εντοπισμό ασθενειών που σχετίζονται με τον ύπνο όπως την αποφρακτική άπνοια, την κεντρική άπνοια και εκδηλώσεις υπόπνοιας.

Επίσης σημαντικό μειονέκτημα είναι το γεγονός ότι δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα αισθητήρες υπερήχων για τον εντοπισμό του δέκτη και για τον εντοπισμό εμποδίων μιας και τα σήματα τους θα μπερδεύονται και δε θα δουλεύει κανένας αποτελεσματικά. Σε περίπτωση που απαιτείται η χρήση αισθητήρων για την αποφυγή εμποδίων θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν είτε αισθητήρες υπέρυθρων, είτε αισθητήρες laser. Οι αισθητήρες υπέρυθρων είναι αρκετά οικονομικοί αλλά χαμηλή ακρίβεια στις μετρήσεις τους, ενώ οι αισθητήρες laser είναι σημαντικά πιο ακριβοί αλλά με πολύ καλύτερη ακρίβεια.

Συνεπώς ο συνδυασμός των δυο μεθόδων είναι μια υποσχόμενη λύση που μπορεί να βελτιώσει την επίδοση της βάσης με σημαντικούς όμως περιορισμούς.

10.5 Αντικατάσταση πομποδεκτών με κινητό τηλέφωνο

Η βασικότερη προϋπόθεση που τέθηκε στην μελέτη και την κατασκευή της βάσης μεταφοράς είναι να μπορεί να είναι πλήρως λειτουργική μόνο με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου του χρήστη.

Για τις ανάγκες της μελέτης και της υλοποίησης της μεθόδου χρησιμοποιήθηκαν χαμηλής κατανάλωσης ψηφιακοί, ενσωματωμένοι πομποδέκτες, στα 2,4 GHz, δηλαδή στην ίδια συχνότητα με αυτή του Wifi του κινητού. Κατασκευάζοντας λοιπόν μια εφαρμογή για κινητά android θα είναι δυνατή η μέτρηση της έντασης του σήματος με την οποία το κάθε κινητό στέλνει τα δεδομένα στους δέκτες. Βασική παράμετρος στον προγραμματισμό της αλληλεπίδρασης του χρήστη και της βάσης είναι η απόσταση στην οποία θα τον ακολουθεί. Λόγω του ότι κάθε κινητό έχει διαφορετική κεραία οι μετρήσεις της έντασης του σήματος από τους δέκτες διαφέρουν από κινητό σε κινητό ακόμα και αν οι συνθήκες μέτρησης είναι πανομοιότυπες, συνεπώς δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια δεδομένη τιμή-μέτρηση που θα αντιπροσωπεύει την επιθυμητή απόσταση της βάση από το χρήστη. Το πρόβλημα αυτό λύνεται μέσω της διαδικασίας αρχικοποίησης της θέσης του χρήστη στην επιθυμητή για αυτόν απόσταση. Με πιο απλά λόγια ο χρήστης πηγαίνει μπροστά στη βάση σε όποια απόσταση αυτός επιθυμεί και ορίζει αυτή τη θέση ως επιθυμητή θέση. Όταν ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία η βάση μεταφοράς γνωρίζει την μέτρηση με την οποία θα συγκρίνει τις υπόλοιπες για να τον ακολουθήσει.

Συνεπώς η μετάβαση από την πειραματική διάταξη με τους συγκεκριμένους πομποδέκτες ως δέκτες και πομπό, μπορεί να αντικατασταθεί σε πραγματικά δεδομένα, μέσω μια εφαρμογής που θα καθιστά το κινητό ως πομπό και δυο δέκτες στα 2,4 GHz τοποθετημένους στο όχημα.

Κεφάλαιο 11: Τρισδιάστατη εκτύπωση βάσεων για τους δέκτες

11.1 Εισαγωγή

Η διαδικασία που απαιτείται για την μετάβαση από την αρχική ιδέα στην κατασκευή ενός προϊόντος είναι δαπανηρή, χρονοβόρα αλλά και αβέβαιη. Δεν είναι λίγες οι φορές που θα χρειαστεί να γίνει επανασχεδίαση του προϊόντος ή κάποιου εξαρτήματος του πριν βγει στην αγορά. Η επανάληψη της διαδικασίας αυτής σημαίνει αύξηση του κόστους και του χρόνου ανάπτυξης του προϊόντος και συνεπώς μείωση της ανταγωνιστικότητας μια επιχείρησης. Πριν από τη δεκαετία του 1990 η μετάβαση από το αρχικό σχέδιο στο πρωτότυπο απαιτούσε ειδικευμένους τεχνίτες οι οποίοι είχαν την απαραίτητη εμπειρία και τις δεξιότητες για να δώσουν φυσική μορφή σε μια αρχική ιδέα. Από τη δεκαετία του 1990 και μετά αρχίζει να γίνεται χρήση του υπολογιστή για την αναπαράσταση των σχεδίων μέσω συστημάτων τρισδιάστατης σχεδίασης (3D CAD) [11]. Ένα τρισδιάστατο σχέδιο είναι η αποτύπωση της μορφής του αντικείμενου στις τρεις διαστάσεις και είναι συνήθως ένας συνδυασμός γεωμετρικών σχημάτων όπως κύλινδροι, ορθογώνια και οπές. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η ακριβής οπτικοποίηση του προϊόντος αλλά και ο καθορισμός ορισμένων βασικών χαρακτηριστικών όπως η μάζα και ο όγκος του. Επιπλέον μέσω συστημάτων CAE (computer aided engineering) είναι δυνατή η προσομοίωση της συναρμολόγησης των επιμέρους εξαρτημάτων, η εύρεση επικαλύψεων ανάμεσα στα εξαρτήματα ή ακόμα και η κακή συνεργασία τους. Επίσης τα συστήματα CAE περιλαμβάνουν αρκετές αναλύσεις όπως ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων θερμικών ροών ή κατανομής τάσεων κ.α. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η αποφυγή της κατασκευής ενός φυσικού πρωτοτύπου που θα ήταν πολύ πιο δαπανηρή τόσο σε χρόνο όσο και σε χρήμα. Το 1984 η "3D systems" παρουσιάζει το πρώτο σύστημα κατασκευής ελεύθερης μορφής με στερεολιθογραφία [11]. Έπειτα άλλες ανταγωνιστικές τεχνολογίες ακολούθησαν ικανές να μετατρέψουν ένα τρισδιάστατο μοντέλο σχεδιασμένο στον υπολογιστή σε φυσικό αντικείμενο. Η συλλογή όλων αυτών των τεχνολογιών ονομάζεται ταχεία πρωτοτυποποίηση.

11.2 Μέθοδοι ταχείας πρωτοτυποποίησης

Οι τρισδιάστατη εκτύπωση είναι η διαδικασία με την οποία κατασκευάζεται ένα αντικείμενο με πρόσθεση υλικού. Η κατασκευή του αντικείμενου πραγματοποιείται είτε με διαδοχική συγκόλληση, είτε με την εναπόθεση είτε με την στερεοποίηση λεπτών στρώσεων του υλικού. Τα αντικείμενα που προκύπτουν με τις παραπάνω διαδικασίες τις περισσότερες φορές κατασκευάζονται από πλαστικά, κερί, χαρτί, ξύλο, κεραμικά αλλά και μέταλλα.

Οι βασικές τεχνικές με τις οποίες κατασκευάζονται τα τρισδιάστατα αντικείμενα είναι η στερεολιθογραφία, η τεχνική Selective Laser Sintering (SLS), η Τεχνική Fused Deposition Modeling (FDM) και η τεχνική Laminated Object Manufacturing (LOM).

Stereolithography (SLA)

Οι εκτυπωτές λιθογραφίας, σε αντίθεση με τους εκτυπωτές εναπόθεσης υλικού στερεοποιούν διαδοχικές στρώσεις και δεν τις εναποθέτουν. Συγκεκριμένα, ένας εκτυπωτής λιθογραφίας φέρει και μια κεφαλή που κινείται στο επίπεδο εκτύπωσης και ένα δάπεδο όπου κινείται πάνω κάτω. Σε αυτήν την περίπτωση η κεφαλή φέρει μια ισχυρή υπεριώδη ακτίνα λέιζερ, ενώ το δάπεδο είναι βυθισμένο ελάχιστα σε μια δεξαμενή γεμάτη με διάφανο φωτοπολυμερές υγρό. Η κεφαλή κινείται πάνω από το δάπεδο και στερεοποιεί την επιφάνεια του φωτοπολυμερούς υγρού σύμφωνα με μια τομή του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου. Όταν η στερεοποίηση τελειώσει το δάπεδο κινείται προς τα κάτω δέκατα ή εκατοστά του χιλιοστού έτσι ώστε η επιφάνεια του υγρού να ξεπεράσει την επιφάνεια του εξαρτήματος και το λέιζερ στερεοποιεί την επόμενη επιφάνεια. Για κάθε χιλιοστό του εξαρτήματος η διαδικασία στερεοποίησης επαναλαμβάνεται αρκετές φορές ανάλογα με την ακρίβεια που επιθυμούμε να επιτύχουμε γεγονός που κάνει τη διαδικασία κατασκευής πρωτοτύπου με στερεολιθογραφία αρκετά χρονοβόρα αλλά πολύ λεπτομερή. Όταν η διαδικασία ολοκληρωθεί για όλες τις τομές του εξαρτήματος, παίρνουμε το εξάρτημα και το ξεπλένουμε με ειδικό διαλυτικό από το πολυμερές υγρό και τέλος το τοποθετούμε σε ένα φούρνο υπεριώδους ακτινοβολίας για την επίτευξη μεγαλύτερης σκληρότητας [10]. Η μέθοδος της στερεολιθογραφίας είναι η ακριβέστερη αλλά και η πιο ακριβή, γι' αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλες εταιρίες για την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων.

Selective laser sintering

Με αυτή τη μέθοδο δημιουργούνται πρωτότυπα με στερεοποίηση σκόνης (συνήθως μετάλλου) μέσω θέρμανσης της από μια δέσμη λέιζερ CO₂. Ολόκληρη η διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμαινόμενο θάλαμο αζώτου. Είναι σημαντικό ότι δεν απαιτούνται στηρίγματα και ότι δεν απαιτείται ιδιαίτερη επεξεργασία μετά την κατασκευή του. Τα κομμάτια που παράγονται έχουν τραχεία επιφάνεια η οποία αν είναι επιθυμητό μπορεί να βελτιωθεί μέσω αμμοβολής ή βαφής. Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η μεγάλη αντοχή και η ακρίβεια των τελικών προϊόντων της, ενώ κύριο μειονέκτημα είναι το κόστος και ο μεγάλος χρόνος κατασκευής. Παρόλο που μέσω της παραπάνω μεθόδου κατασκευάζονται άμεσα μεταλλικά αντικείμενα με μεγάλη αντοχή, είναι δεδομένο ότι θα έχουν κατώτερες ιδιότητες από άλλα εξάρτηματα που έχουν κατασκευαστεί με χύτευση, σφυρηλάτηση ή κατεργασίες με αποβολή υλικού [10].

Fused deposition modeling (FDM)

Σε αυτή τη μέθοδο, μια ειδική θερμαινόμενη κεφαλή (ακροφύσιο) κινείται στο επίπεδο εκτύπωσης και πιέζει πάνω στο αντικείμενο πλαστικό. Αρχικά το πλαστικό βρίσκεται σε μορφή νήματος και έπειτα περνώντας από το ακροφύσιο λιώνει και δημιουργεί τις στρώσεις πάχους 0,178mm-0,356mm. Όταν η εναπόθεση υλικού τελειώσει το δάπεδο κινείται μερικά δέκατα ή και εκατοστά του χιλιοστού προς τα κάτω και η κεφαλή εναποθέτει την επόμενη στρώση. Έτσι δημιουργώντας της διαδοχικές τομές του αντικειμένου κατασκευάζεται το τελικό μας εξάρτημα. Ολόκληρη η διαδικασία πραγματοποιείται σε θερμαινόμενο θάλαμο και η θερμοκρασία του είναι καθοριστική παράμετρος για την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος. Σημαντικό ρόλο στην παραπάνω

διαδικασία έχουν τα στηρίγματα που κατασκευάζονται αυτόματα από τον εκτυπωτή για τη στήριξη σημείων που θεωρούνται ευάλωτα κατά την κατασκευή. Τα στηρίγματα κατασκευάζονται συνήθως από διαφορετικό υλικό που στη συνέχεια απομακρύνεται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται με αυτή τη μέθοδο είναι πιο σκληρά και ανθεκτικά από αυτά της στερεολιθογραφίας και της σύντηξης (laser sintering), αλλά έχουν χειρότερη τελική επιφάνεια. Σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι είναι πιο φθηνές από τις αντίστοιχες μηχανές στερεολιθογραφίας και σύντηξης και ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον γραφείου [10].

Laminated Object Manufacturing (LOM)

Η εταιρία HELISYS ανέπτυξε τη μέθοδο αυτή η οποία κόβει και ενοποιεί χαρτί. Κάθε χαρτί φέρει ιδική θερμοκολλιτική ουσία στο κάτω μέρος του με αποτέλεσμα όταν πιεστεί και θερμανθεί οι δυο επιφάνειες του χαρτιού να κολλήσουν μεταξύ τους. Η πίεση και η θέρμανση επιτυγχάνονται μέσω ενός θερμαινόμενου κυλίνδρου που διέρχεται πάνω από την επιφάνεια των χαρτιών που πρόκειται να συγκολληθούν. Στη συνέχεια ένα λέιζερ κόβει το περίγραμμα της επιθυμητής διατομής και η βάση μετακινείται προς τα κάτω για να συγκληθεί η επόμενη στρώση. Λόγω του ότι το χαρτί δεν έχει σταθερό πάχος ένας αισθητήρας μετράει το πάχος του χαρτιού που πρόκειται να συγκληθεί έτσι ώστε να προσαρμόσει τη διαδικασία. Αργότερα η εταιρία ανέπτυξε και χρησιμοποίησε και άλλα υλικά όπως αδιάβροχο χαρτί, πλαστικά και μεταλλικά ελάσματα [10] [13].

11.3 Από το τρισδιάστατο μοντέλο στον εκτυπωτή

Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές δε μπορούν να εκτυπώσουν απευθείας ένα τρισδιάστατο μοντέλο. Είναι αναγκαίο να υπάρξει ένα ενδιάμεσο βήμα στο οποίο το τρισδιάστατο μοντέλο θα χωριστεί σε εγκάρσιες διατομές επιθυμητού πάχους. Αυτό το βήμα πραγματοποιείται αποθηκεύοντας το τρισδιάστατο μοντέλο σε μορφή .STL (Stereolithography). Το αρχείο αυτό προσεγγίζει τις επιφάνειες του μοντέλου με τρίγωνα. Έπειτα το αρχείο .STL επεξεργάζεται από κάποιο άλλο πρόγραμμα το οποίο δημιουργεί τις διατομές του μοντέλου με ένα επιθυμητό πάχος. Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία υπάρχουν όλες οι πληροφορίες που χρειάζεται ο εκτυπωτής για να εκτυπώσει το τρισδιάστατο μοντέλο.

11.4 Πλεονεκτήματα τρισδιάστατης εκτύπωσης

Η χρήση μεθόδων ταχείας προτυποποίησης κάνουν τη διαδικασία παραγωγής πρωτοτύπων ευκολότερη, γρηγορότερη και με μικρότερο κόστος. Ταυτόχρονα, η ποιότητα των πρωτοτύπων είναι αρκετά καλή για διάφορες δοκιμές, όπως αναλύσεις μηχανικής αντοχής λειτουργικότητας και δοκιμές συναρμολόγησης. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η ταχύτητα παραγωγής τους μιας και κάνει την επανάληψη του επανασχεδιασμού και της δοκιμής γρηγορότερη και με σημαντικά ελαχιστοποιημένο κόστος. Επιπλέον η αυξημένη πολυπλοκότητα των αντικειμένων που μπορούν να κατασκευαστούν μέσω της τρισδιάστατης εκτύπωσης αποτελεί βασικό πλεονέκτημα σε σχέση με της μηχανές CNC.

11.5 Εκτύπωση βάσεων

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής κρίθηκε απαραίτητο, για λόγους ασφαλείας (κεφάλαιο 8) να σχεδιαστούν και να εκτυπωθούν δυο βάσεις μέσα στις οποίες θα τοποθετηθούν οι δέκτες.

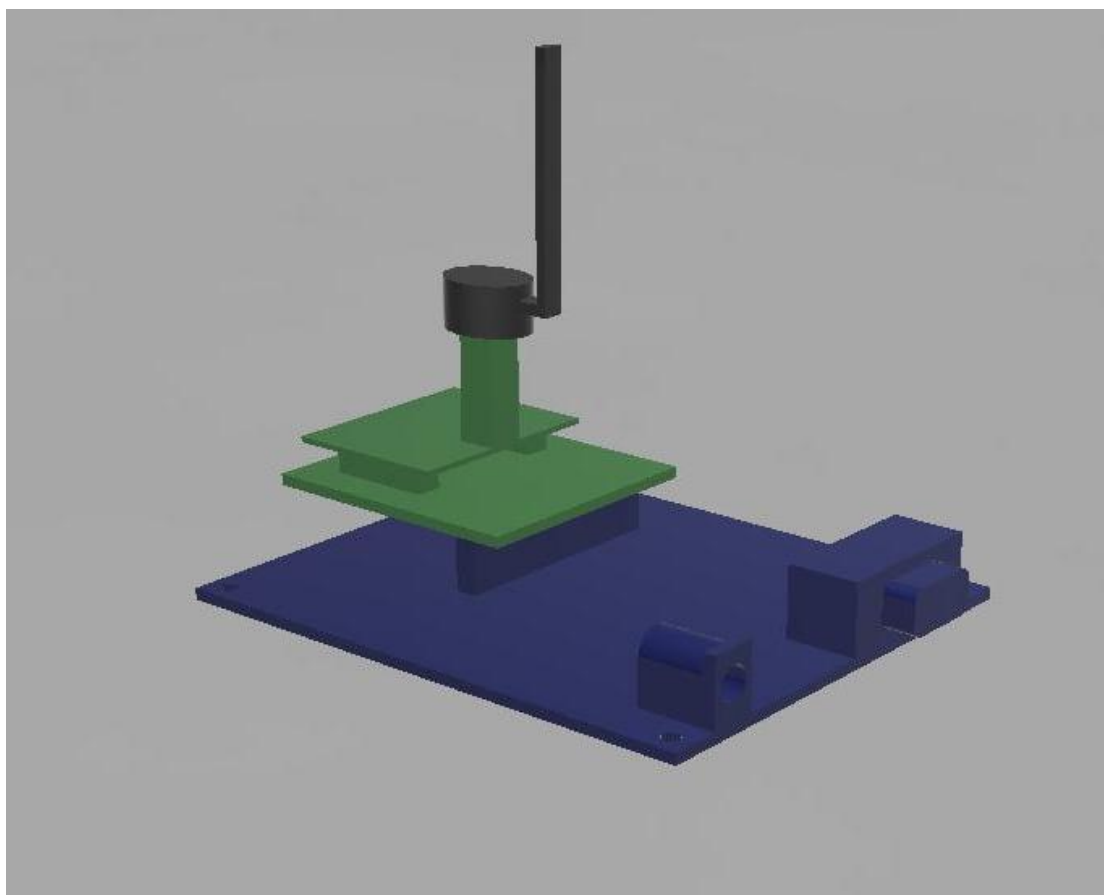
Για την εκτύπωση των βάσεων χρησιμοποιήθηκε ο εκτυπωτής τρισδιάστατων μοντέλων Cube τρίτης γενιάς της εταιρίας 3D systems, ο οποίος βρίσκεται στις εγκαταστάσεις του εργαστηρίου Τεχνολογίας Παραγωγής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης και βασίζεται στη τεχνολογία της εναπόθεσης υλικού σε στρώσεις Fused Deposition Modeling (FDM). Λόγω του μεγέθους του αλλά και της φορητότητας του ο Cube είναι κατάλληλος τόσο για χρήση στο γραφείο, όσο και για χρήση στο σπίτι. Έχει τη δυνατότητα να εκτυπώσει πλαστικά αντικείμενα από PLA και ABS με μέγιστο όριο διαστάσεων 15X15X15 cm σε μήκος, πλάτος και ύψος αντίστοιχα και μέγιστη ακρίβεια στρώσης 70 microns.

Για την εκτύπωση των βάσεων χρησιμοποιήθηκε υλικό PLA (Poly Lactic Acid), χρώματος Coral. Το PLA είναι βιοδιασπώμενο θερμοπλαστικό που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως άμυλο αραβοσίτου (στις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά), ρίζες ταπιόκα (είδος αμύλου), άμυλο (ως επί το πλείστον στην Ασία), ή ζαχαροκάλαμο (στον υπόλοιπο κόσμο) [14]. Συγκριτικά με το ABS το PLA έχει ταχύτερους χρόνους εκτύπωσης, υψηλή ακρίβεια στρώσης αλλά και αιχμηρές γωνίες. Συνδυάζοντας αυτά με την υψηλή αντοχή και την μεγάλη ποικιλία χρωμάτων κάνουν το PLA ιδανικό για χρήση σε μικρές αλλά και μεγάλες εφαρμογές [5].

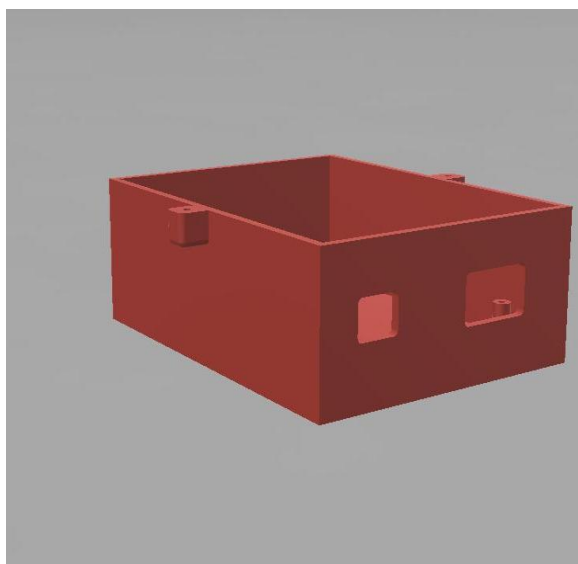
Όσον αφορά τις επιλογές της εκτύπωσης, ο Cube σου δίνει τη δυνατότητα να επιλέξεις το πάχος των στρώσεων ανάμεσα σε 70 Microns ή 0,07 mm (καλή ποιότητα επιφάνειας αλλά μεγάλος χρόνος εκτύπωσης) και 200 Microns ή 0,2 mm (χειρότερη ποιότητα επιφάνειας αλλά μικρότερος χρόνος εκτύπωσης). Επίσης σου δίνει τη δυνατότητα να ρυθμίσεις την πυκνότητα των επιφανειών, αλλά και το μοτίβο που θα ακολουθήσει για να εκτυπώσει τις επιφάνειες. Τέλος ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει αν επιθυμεί ο εκτυπωτής να χρησιμοποιήσει στηρίγματα. Όλες οι επιλογές ανακλούν την ανάγκη της εκτύπωσης για στιβαρές ή πιο αδύναμες κατασκευές. Προφανώς όσο μεγαλύτερες οι απαιτήσεις για αντοχή τόσο πιο μεγάλος θα είναι και ο χρόνος εκτύπωσης.

Στη προκειμένη περίπτωση η βάση δε θα καταπονείται ιδιαίτερα οπότε επιλέγεται το πάχος των 200 microns, η μέση πυκνότητα επιφανειών και ένα μοτίβο μέσης αντοχής, με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και υλικού.

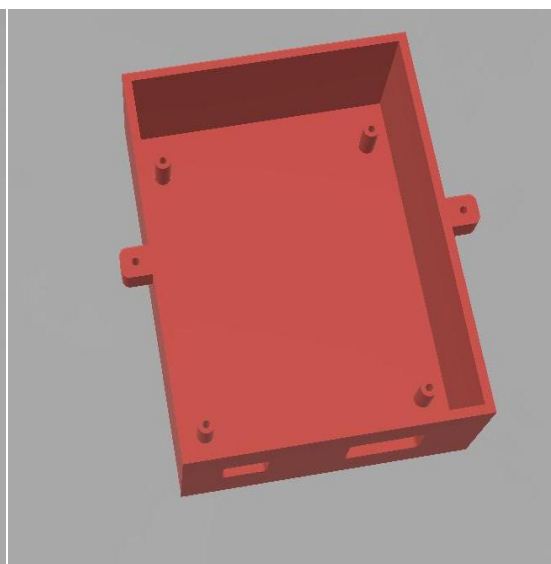
Αρχικά, σχεδιάστηκε ένα τρισδιάστατο μοντέλο του δέκτη (εικόνα 13.1) που θα χρησιμοποιηθεί και έπειτα, σχεδιάστηκε η βάση του, η οποία χωρίζεται σε δυο κομμάτια. Το πρώτο είναι η βάση (εικόνα 13.2, εικόνα 13,3) στην οποία θα στερεώνεται ο δέκτης και το δεύτερο το καπάκι (εικόνα 13.4) με το οποίο θα παραμένει ασφαλής από το περιβάλλον. Κατά το σχεδιασμό δεν υπήρξε ιδιαίτερη μελέτη για την αποφυγή υψηλών θερμοκρασιών μιας και ο δέκτης δεν είχε ιδιαίτερες ανάγκη ψύξης. Οι οπές της κεραίας, της σειριακής επικοινωνίας και της τροφοδοσίας κρίθηκαν απολύτως ικανές να ικανοποιήσουν της ανάγκες ψύξης του δέκτη.



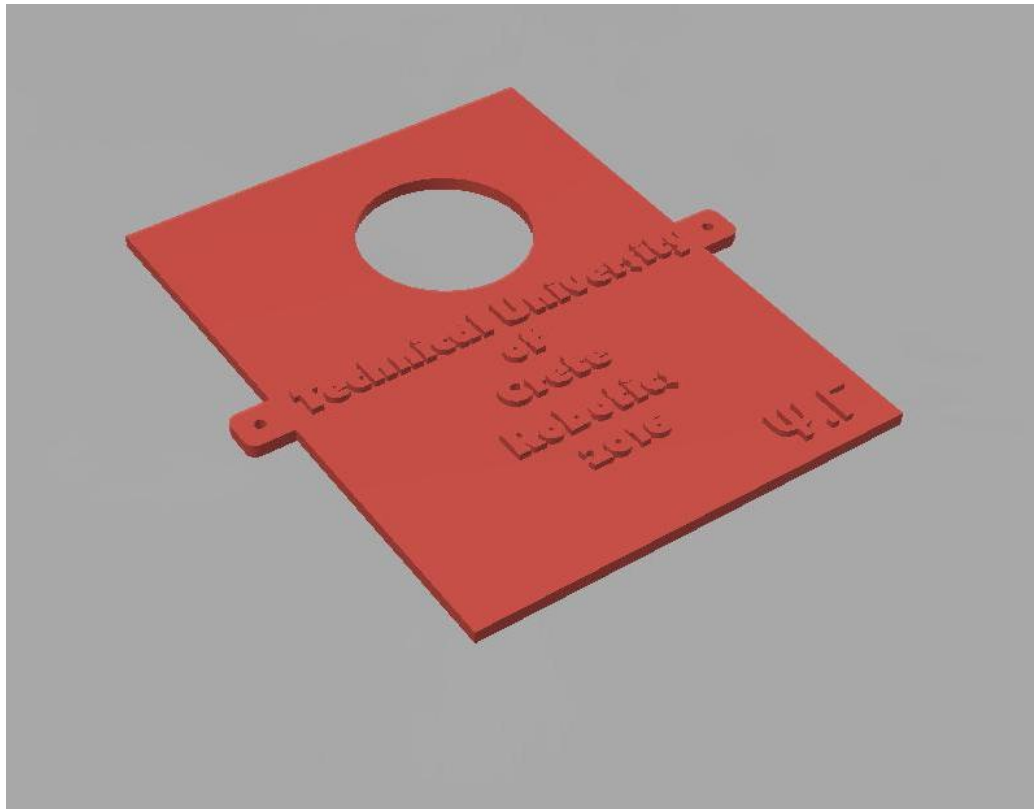
Εικόνα 11.1: Τρισδιάστατο μοντέλο του δέκτη



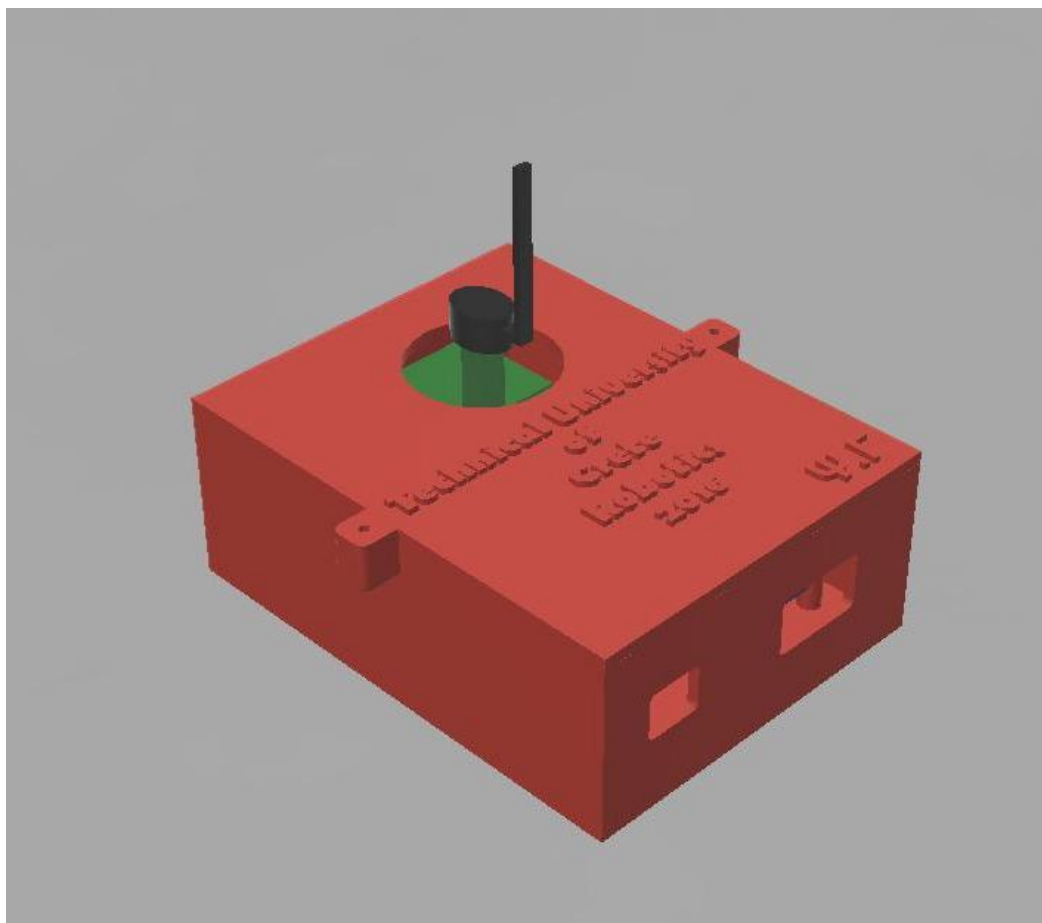
Εικόνα 11.2: Βάση στην οποία θα στερεώνεται ο δέκτης



Εικόνα 11.3: Βάση στην οποία θα στερεώνεται ο δέκτης



Εικόνα 11.4: Καπάκι της βάσης

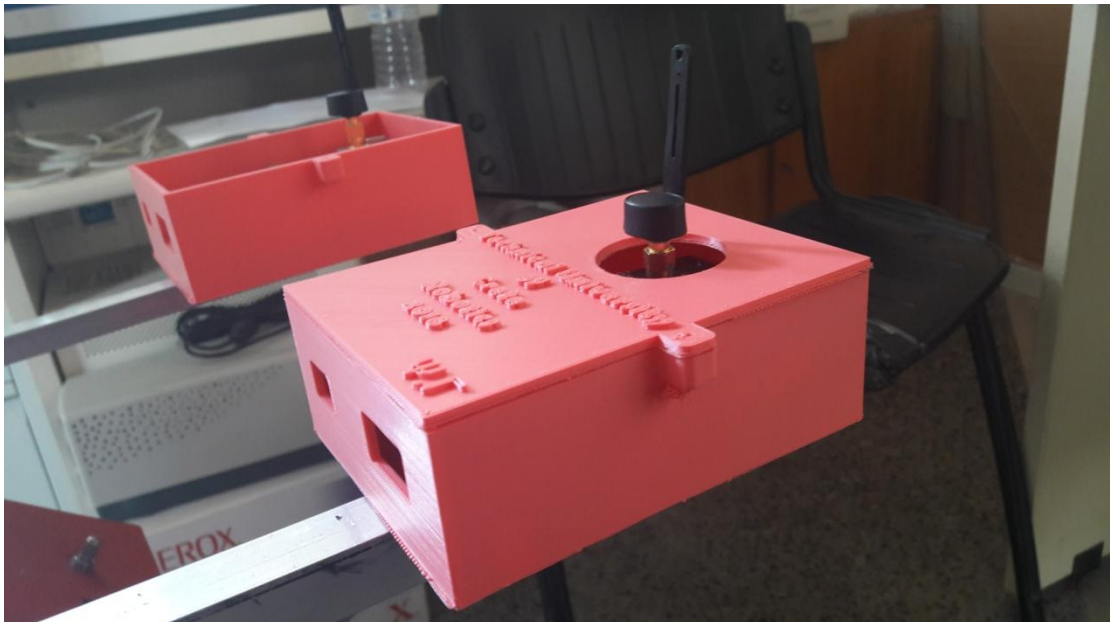


Εικόνα 11.5: Συναρμολογημένη βάση με τον πομποδέκτη

Συνολικά εκτυπώθηκαν δυο βάσεις, η πρώτη χωρίς χρήση στηριγμάτων και η δεύτερη με χρήση στηριγμάτων. Στην περίπτωση του καπακιού τα στηρίγματα δε χρειάζονται, συνεπώς δε παρατηρείται καμιά διαφορά στα δυο αποτελέσματα. Στην περίπτωση όμως της κάτω βάσης η ποιότητα του αποτελέσματος της εκτύπωσης είναι φανερά καλύτερη στη περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκαν στηρίγματα.



Εικόνα 11.6: Βάσεις κεραιών



Εικόνα 11.7: Βάση πομποδέκτη με καπάκι

11.6 Προβλήματα κατά την εκτύπωση



Εικόνα 11.8: Εκτύπωση με χρήση στηριγμάτων



Εικόνα 11.9: Εκτύπωση χωρίς τη χρήση στηριγμάτων

Γενικά τα στηρίγματα χρησιμοποιούνται για να ενισχύσουν περιοχές οι οποίες είναι ευάλωτες κατά την κατασκευή τους. στη συγκεκριμένη περίπτωση η προεξοχή για την ένωση της βάσης με το καπάκι της ήταν μια τέτοια περίπτωση. Στην πρώτη εκτύπωση όπου δε χρησιμοποιήθηκαν στηρίγματα οι πρώτες στρώσεις της προεξοχής μη έχοντας στήριξη και λόγω του βάρους του υλικού δημιούργησαν το αποτέλεσμα της εικόνας 13.9. Στη δεύτερη περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκαν στηρίγματα το αποτέλεσμα είναι σημαντικά πιο καλό. Τα στηρίγματα τοποθετεί ο εκτυπωτής αυτόματα σε περιοχές όπου αυτός κρίνει

απαραίτητο. Παρακάτω φαίνονται οι περιοχές στις οποίες έχουν τοποθετηθεί τα στηρίγματα από τον εκτυπωτή.

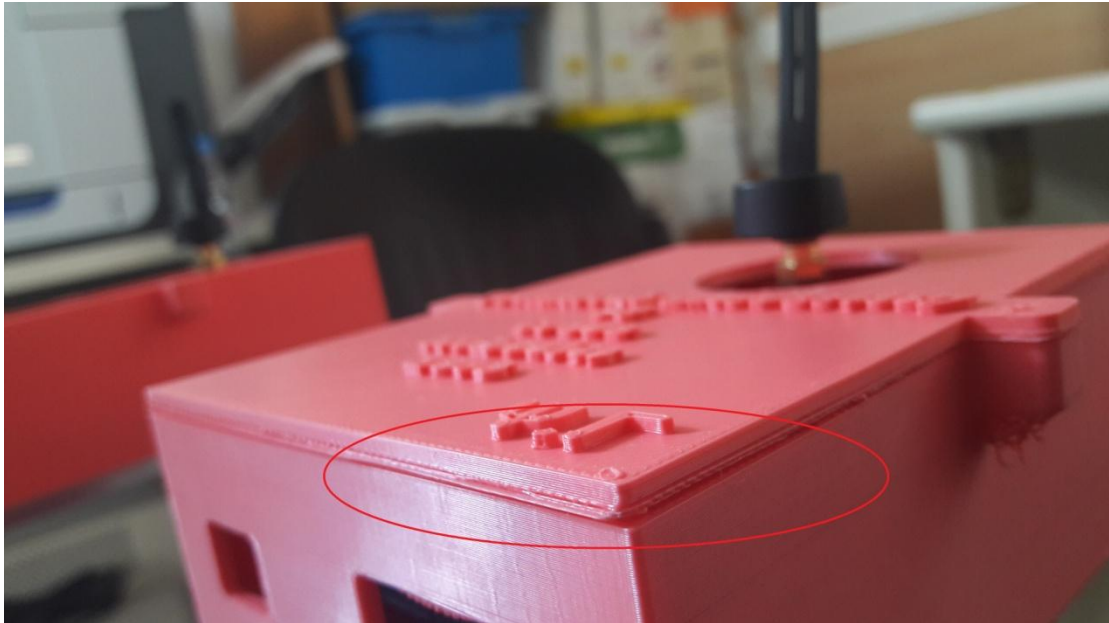


Εικόνα 11.10: Στηρίγματα για την προεξοχή



Εικόνα 11.11: Στηρίγματα σε περιοχές με κενά

Παρατηρήθηκαν διάφορα προβλήματα κατά την εκτύπωση των βάσεων τα οποία φαίνονται στο τελικό αποτέλεσμα. Αρχικά ο εκτυπωτής σφάλει στη δημιουργία των πρώτων στρώσεων του αντικειμένου με αποτέλεσμα τα πρώτα χιλιοστά της βάσης να είναι ελαφρώς μετατοπισμένα μεταξύ τους και στις δυο περιπτώσεις (εικόνα 13.12).



Εικόνα 11.12: Πρόβλημα στα πρώτα χιλιοστά της εκτύπωσης

Επίσης παρά τη χρήση των στηριγμάτων σε ορισμένα σημεία ο εκτυπωτής αδυνατούσε να στερεοποιήσει σωστά τις επιφάνειες συνεπώς το υλικό έρεε και σταθεροποιούνταν σε απροσδιόριστη μορφή (εικόνα 13.13).



Εικόνα 11.13: Απροσδιόριστη στερεοποίηση υλικού

Σημαντικό πρόβλημα αντιμετωπίστηκε και στις μικρές οπές, όπου ο εκτυπωτής αδυνατούσε να τις εκτυπώσει σωστά σε όλο τους το μήκος με αποτέλεσμα να απαιτεί άνοιγμα μετά την εκτύπωση με δράπανο.

Τέλος, λόγω της μεγάλης λεπτομέρειας που είχαν τα γράμματα ο εκτυπωτής δεν απέδωσε πλήρως τη μορφή τους, με το αποτέλεσμα όμως να είναι αρκετά ικανοποιητικό.



Εικόνα 11.14: Απόδοση γραμμάτων από το 3D printer

Ενδεικτικά ο χρόνος εκτύπωσης της βάσης ήταν περίπου 8 ώρες και του καπακιού περίπου 2:30 ώρες.

Κεφάλαιο 12: Μελέτη και σχεδίαση τρισδιάστατου μοντέλου της βάσης μεταφοράς

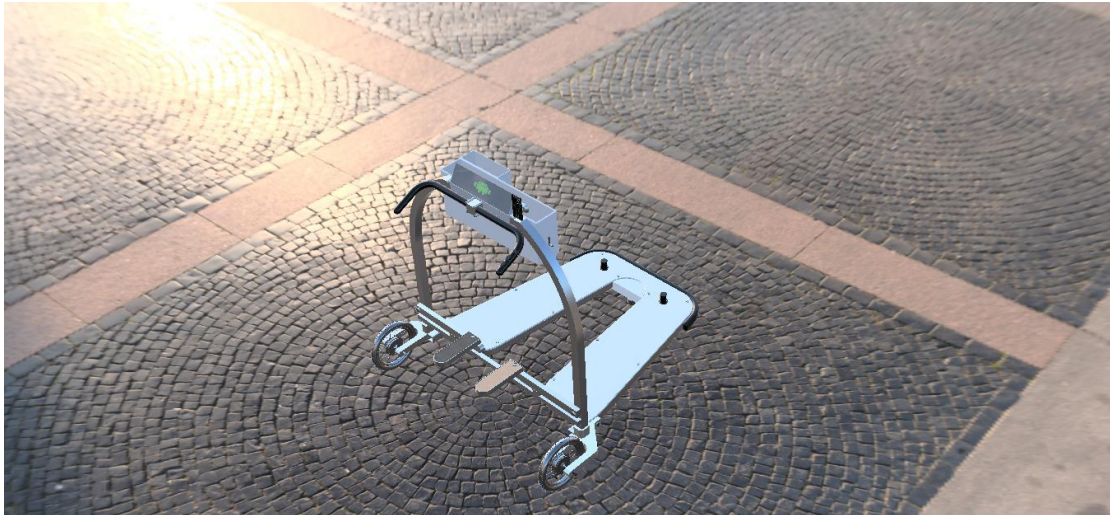
12.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το τρισδιάστατο μοντέλο της βάσης μεταφοράς το οποίο κατασκευάστηκε μέσω του προγράμματος τρισδιάστατης σχεδίασης FUSION 360. Παρακάτω γίνεται ανάλυση των μερών της βάσης, της λειτουργίας τους αλλά και της αλληλεπίδρασης της βάσης με τον επιβάτη. Η συγκεκριμένη σχεδίαση έχει πραγματοποιηθεί για χρήση της βάσης σε περιβάλλον αεροδρομίου και είναι εμπνευσμένη από τα καρότσια μεταφοράς αποσκευών των αεροδρομίων. Ο επιβάτης θα έχει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τη βάση μέσω του κινητού του ή μέσω της οθόνης που διαθέτει και θα μπορεί να επιλέξει είτε να τον ακολουθεί, είτε να την οδηγήσει ο ίδιος.

12.2 Παρουσίαση της συνολικής εικόνας της βάσης μεταφοράς



Εικόνα 12.1: Γενική εικόνα της βάσης μεταφοράς



Εικόνα 12.2: Γενική εικόνα της βάσης μεταφοράς



Εικόνα 12.3: Γενική εικόνα της βάσης μεταφοράς



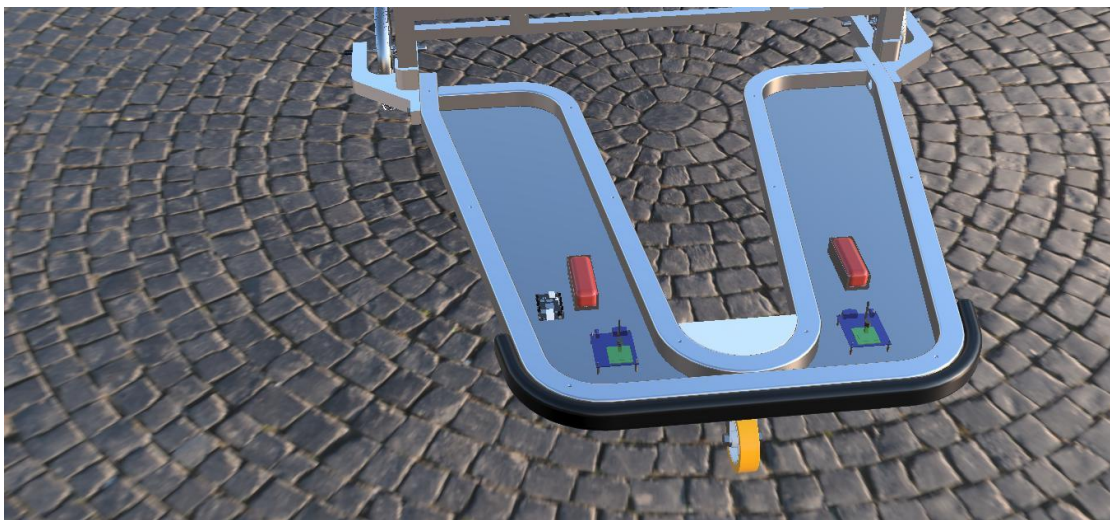
Εικόνα 12.4: Γενική εικόνα της βάσης μεταφοράς

12.3 Ανάλυση του σχεδιασμού της βάσης μεταφοράς

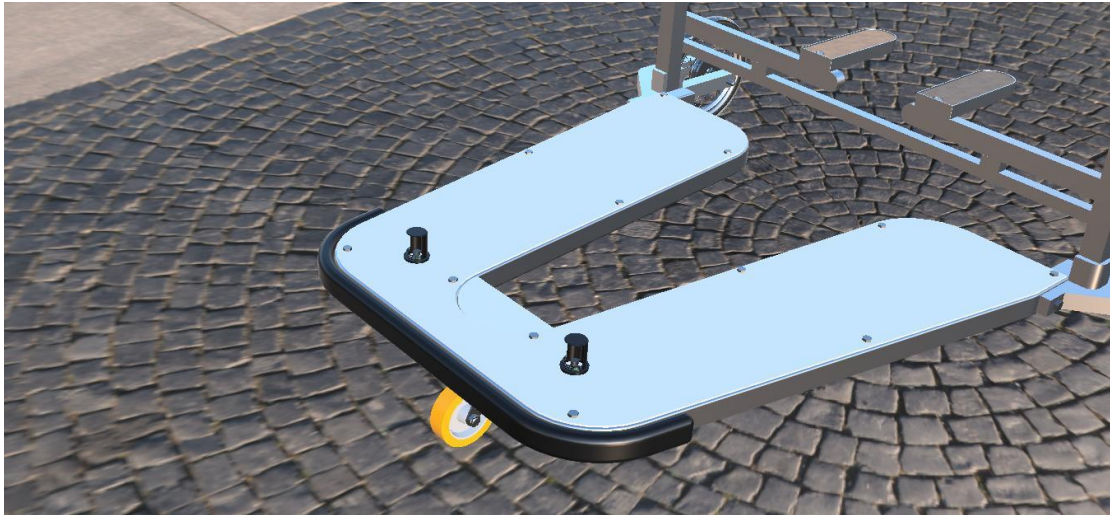
Ο βασικός κορμός της βάσης μεταφοράς, πάνω στον οποίο στηρίζονται όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα αποτελείται από την επικλινή κάτω βάση (εικόνα 12.6) και τη βάση στήριξης του εξοπλισμού αλληλεπίδρασης (εικόνα 12.5). Στην κάτω βάση στηρίζονται οι τροχοί, ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός και δέχεται όλο το βάρος από τις βαλίτσες του επιβάτη, ενώ η βάση στήριξης του εξοπλισμού αλληλεπίδρασης υποδέχεται την βάση της οθόνης, τη βάση του κινητού, τη βάση του τιμονιού και τη χώρο για τα μικροαντικείμενα. Επίσης για την καλύτερη συγκράτηση των αποσκευών του χρήστη, προτείνεται η τοποθέτηση αντιολισθητικού πλαστικού δαπέδου στο πάνω μέρος της βάσης (εικόνα 12.7).



Εικόνα 12.5: Βάση στήριξης του εξοπλισμού αλληλεπίδρασης



Εικόνα 12.6: Επικλινή κάτω βάση

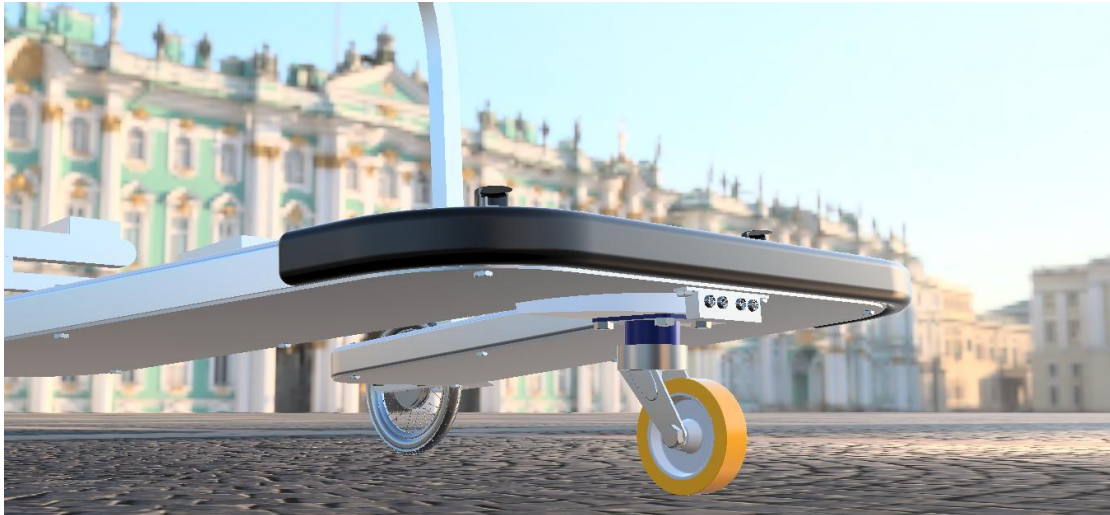


Εικόνα 12.7: Αντιολισθητικό πλαστικού δάπεδο

Λόγω του ότι η βάση μεταφοράς μελετήθηκε ως όχημα με διαφορετικό κινηματικό μοντέλο, έχουμε δυο κινητήριους τροχούς (τύπου HUB motor) [16] στο πίσω μέρος της βάσης (εικόνα 12.8) και ένα υποστηρικτικό τροχό [15] που κινείται ελεύθερα στο μπροστινό μέρος της βάσης (εικόνα 12.9).



Εικόνα 12.8: Κινητήρες τύπου HUB

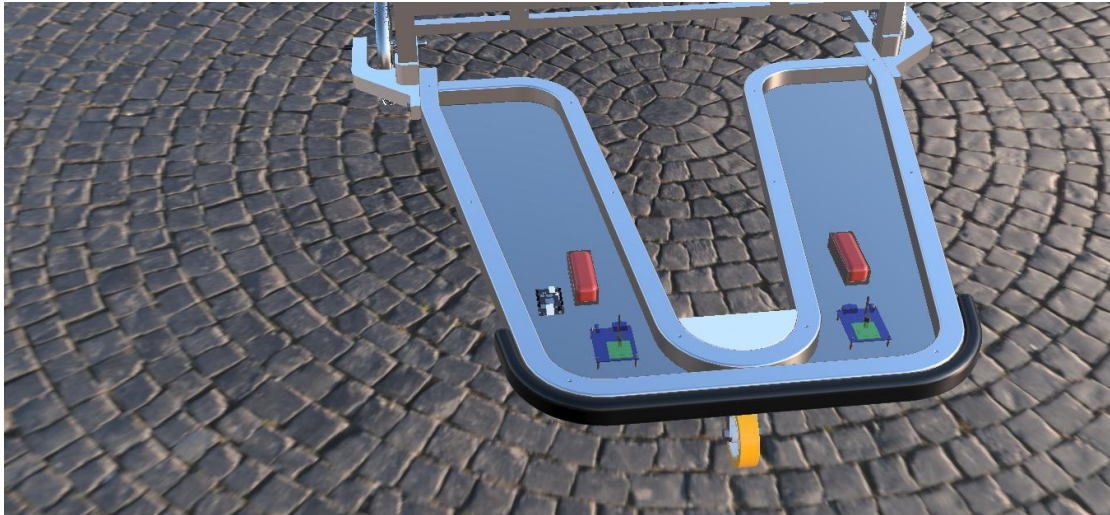


Εικόνα 12.9: Υποστηρικτικός τροχός

Τα ηλεκτρονικά μέρη της βάσης μεταφοράς είναι, ο μικροεπεξεργαστής, οι πομποδέκτες και οι αισθητήρες υπερήχων. Οι αισθητήρες υπερήχων είναι τοποθετημένοι στο μπροστινό μέρος του οχήματος και μπορούν να λειτουργούν είτε για την αποφυγή εμποδίων κατά την αυτόματη λειτουργία, όπου η βάση ακολουθεί τον επιβάτη, είτε για την αποφυγή σύγκρουσης από λάθος χειρισμό του επιβάτη κατά τη λειτουργία πλοήγησης της βάσης από τον επιβάτη, είτε για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας της βάσης στην αυτόματη λειτουργία, μέσω χρήσης των αισθητήρων υπερήχων ως δέκτες (κεφάλαιο 10). Σε όλες τις περιπτώσεις οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι στην ιδιόκλητα σχεδιασμένη για αυτούς βάση (εικόνα 12.10). Για αύξηση της αποτελεσματικότητας τους θα μπορούσαν να τοποθετηθούν περισσότερα ζευγάρια αισθητήρων περιμετρικά του μπροστινού μέρους του οχήματος. Τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά όπως και οι συσσωρευτές είναι τοποθετημένα στο κενό εσωτερικό χώρο της βάσης όπως φαίνεται στην εικόνα 12.11. Όσον αφορά τους συσσωρευτές προτείνεται η χρήση LiPo 6S2P.

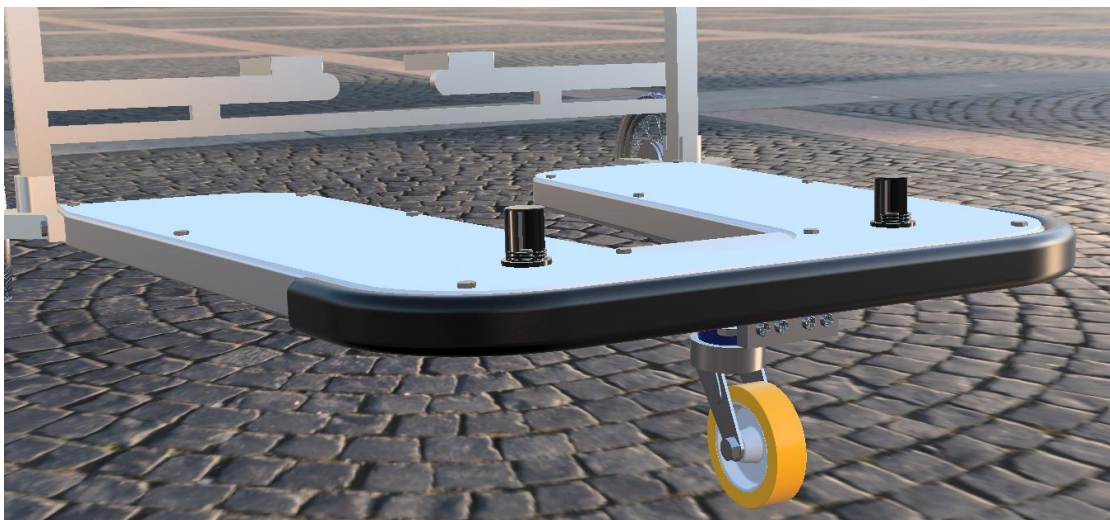


Εικόνα 12.10: Βάση αισθητήρων υπερήχων

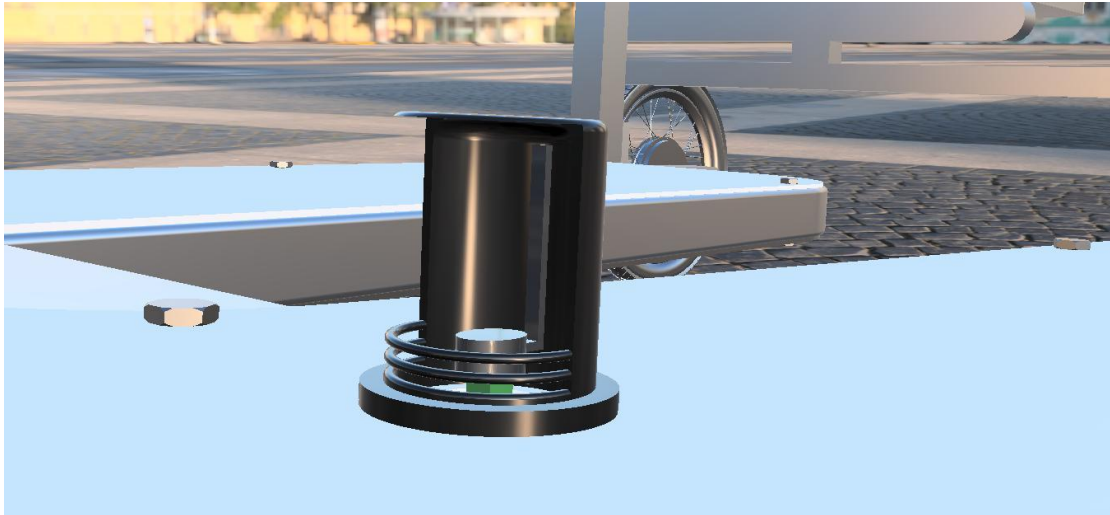


Εικόνα 12.11: Ηλεκτρονικά μέρη της βάσης μεταφοράς

Όσον αφορά την ασφάλεια της βάσης μεταφοράς από πιθανές συγκρούσεις προτείνεται η τοποθέτηση πλαστικού, ελαστικού προφυλακτήρα στο μπροστινό μέρος της όπως αυτόν της εικόνας 12.12. Επίσης για την προστασία των κεραιών από τις βαλίτσες ή κάποιο άλλο αντικείμενο προτείνεται η χρήση προστατευτικών θηκών από πλαστικό, έτσι ώστε να τις προστατεύουν αλλά να μην παρενοχλούν τη λειτουργία τους (εικόνα 12.13).

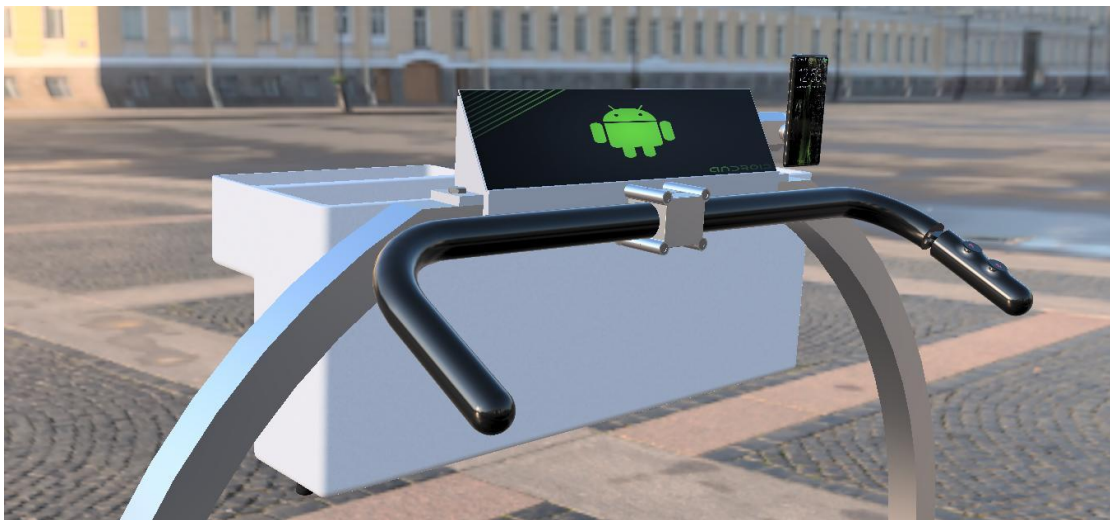


Εικόνα 12.12: Πλαστικός, ελαστικός προφυλακτήρας



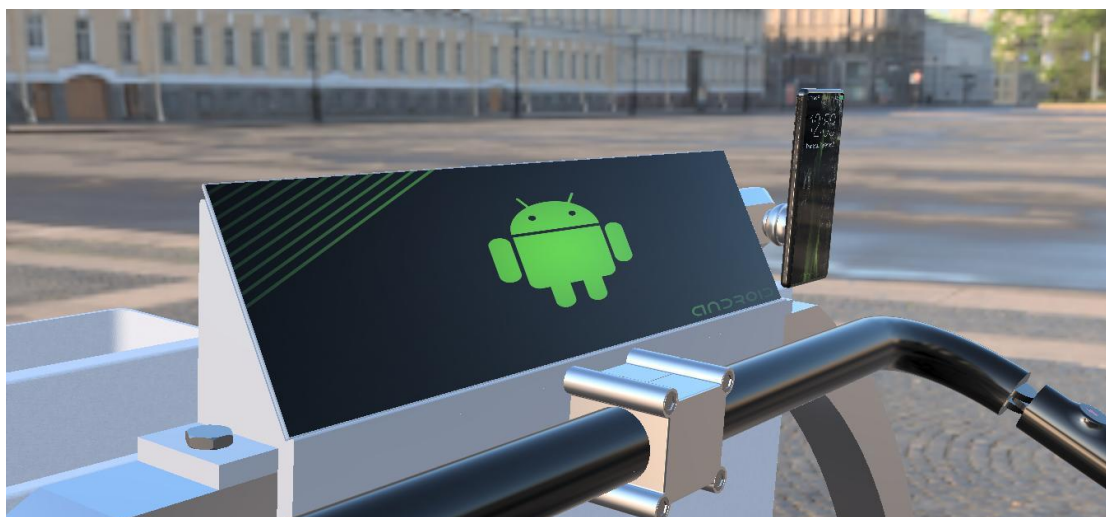
Εικόνα 12.13: Προστατευτικές θήκες κεραίων

Όπως αναφέρθηκε πριν ο επιβάτης θα μπορεί να αλληλεπιδρά με τη βάση μεταφοράς είτε από το κινητό του τηλέφωνο είτε από την πλατφόρμα αλληλεπίδρασης της βάσης (εικόνα 12.14).



Εικόνα 12.14: Πλατφόρμα αλληλεπίδρασης

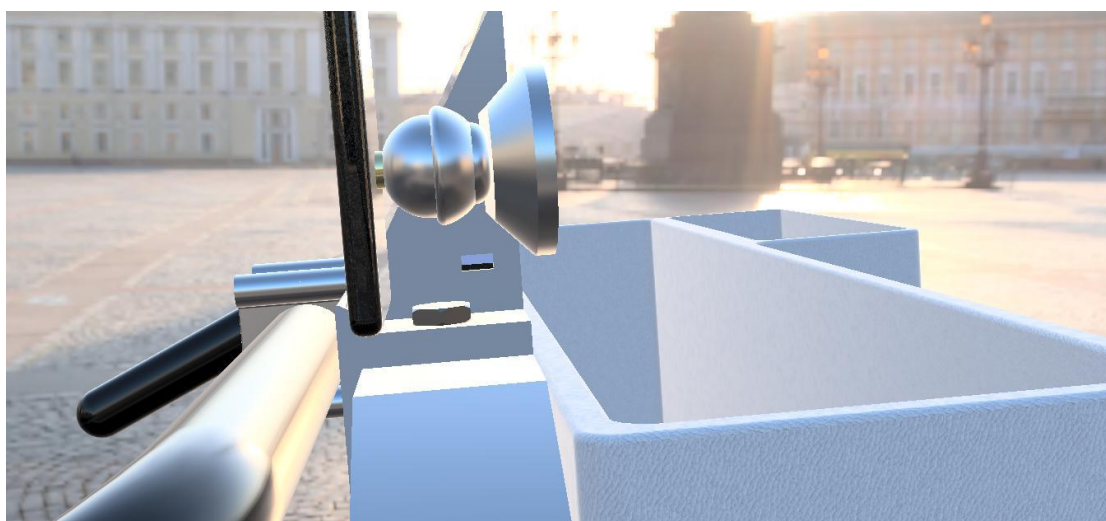
Η πλατφόρμα αυτή περιέχει μια οθόνη (εικόνα 12.15) ένα χειριστήριο για την κατεύθυνση της βάσης μεταφοράς από τον επιβάτη (εικόνα 12.16) και μια βάση για το κινητό του (εικόνα 12.17). Ο επιβάτης θα έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί την οθόνη για να επιλέγει την επιθυμητή λειτουργία της βάσης και για να έχει πρόσβαση σε χάρτες του αεροδρομίου για ευκολότερη εύρεση των παρεχόμενων υπηρεσιών. Ταυτόχρονα θα έχει τη δυνατότητα να φορτίζει το κινητό του μέσω της θύρας usb (εικόνα 12.18) που διαθέτει η βάση μεταφοράς εάν το επιθυμεί και να το έχει συνεχώς μπροστά του.



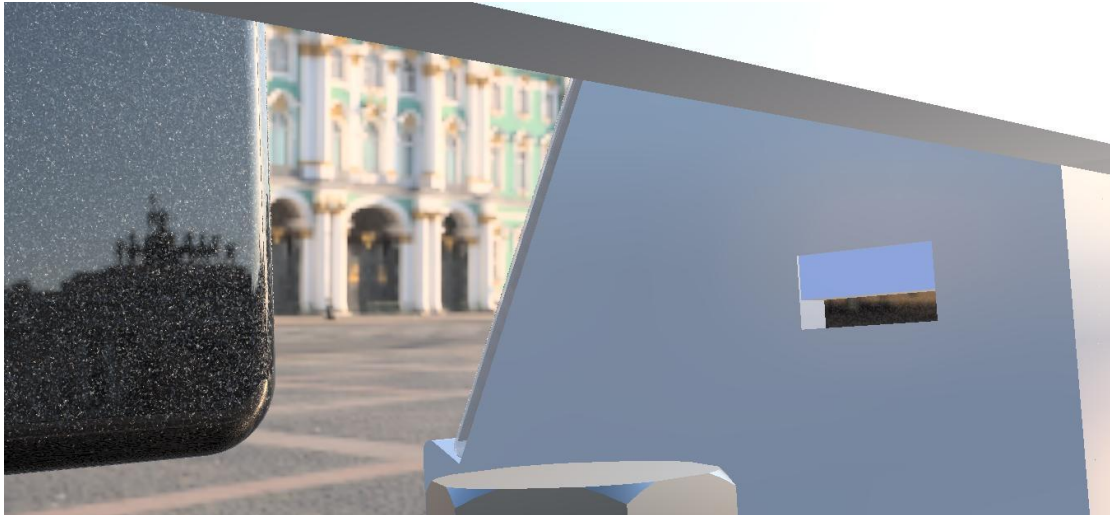
Εικόνα 12.15: Οθόνη βάσης



Εικόνα 12.16: Χειριστήριο για την κατεύθυνση της βάσης μεταφοράς



Εικόνα 12.17: Βάση για το κινητό του επιβάτη



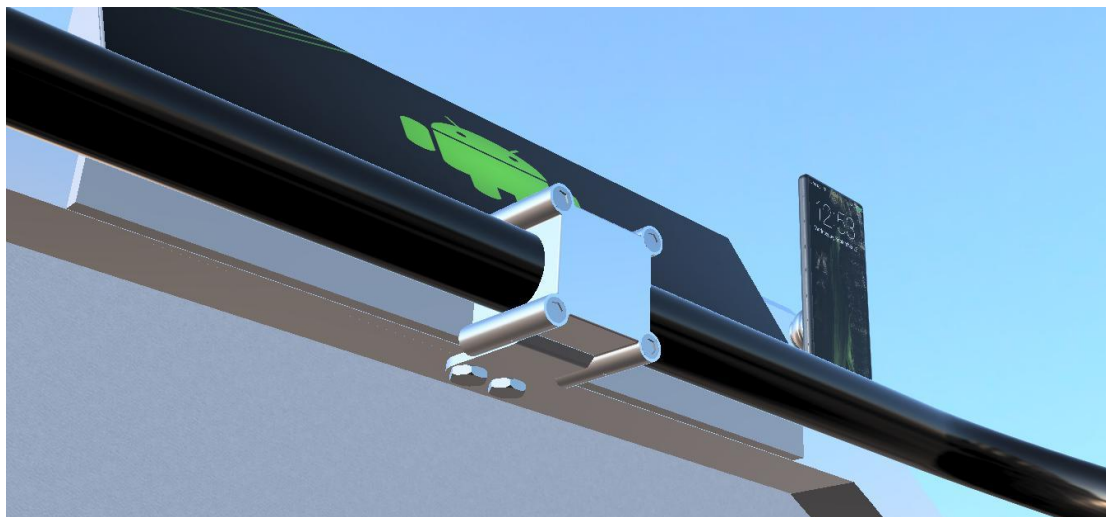
Εικόνα 12.18: Θύρα usb

Η πλοήγηση της βάσης μεταφοράς από τον επιβάτη θα γίνεται μέσω της ειδικής λαβής που λειτουργεί ως χειριστήριο. Αρχικά, πατώντας τα δυο κατευθυντικά πλήκτρα (εικόνα 12.16) ο επιβάτης θα μπορεί να επιλέξει αν θέλει να κινηθεί μπροστά ή πίσω και κουνώντας τη λαβή δεξιά ή αριστερά θα στρίβει η βάση μεταφοράς ανάλογα με την κλίση της λαβής (εικόνα 12.19). Για να σταματήσει να κινείται η βάση το μόνο που έχει να κάνει ο επιβάτης είναι να πατήσει μια φορά το αντίθετο πλήκτρο από αυτό της πορείας του, δηλαδή αν κινείται προς τα μπροστά να πατήσει το πλήκτρο που πάει πίσω, ενώ αν κινείται προς τα πίσω να πατήσει το πλήκτρο που πάει μπροστά. Το χειριστήριο είναι τοποθετημένο στην βάση του (εικόνα 12.20) με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εργονομικό και ως προς την κλίση του αλλά και ως προς το ύψος του από τη βάση των ποδιών.



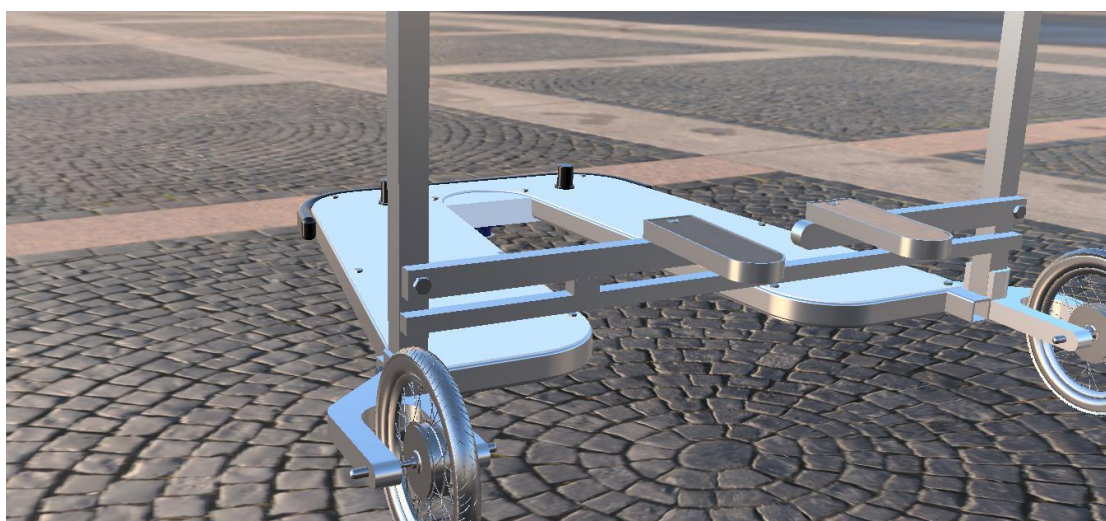
Εικόνα 12.19: Χειριστήριο για την κατεύθυνση της βάσης μεταφοράς

Η βάση του κινητού τηλεφώνου είναι ιδικά κατασκευασμένη για να μπορεί να περιστρέφεται προς όλες τις κατευθύνσεις με μεγάλη ευκολία. Το κινητό τοποθετείται πάνω στον μαγνήτη που έχει στο μπροστινό της μέρος με αποτέλεσμα να είναι συμβατή με όλα τα κινητά τηλέφωνα.

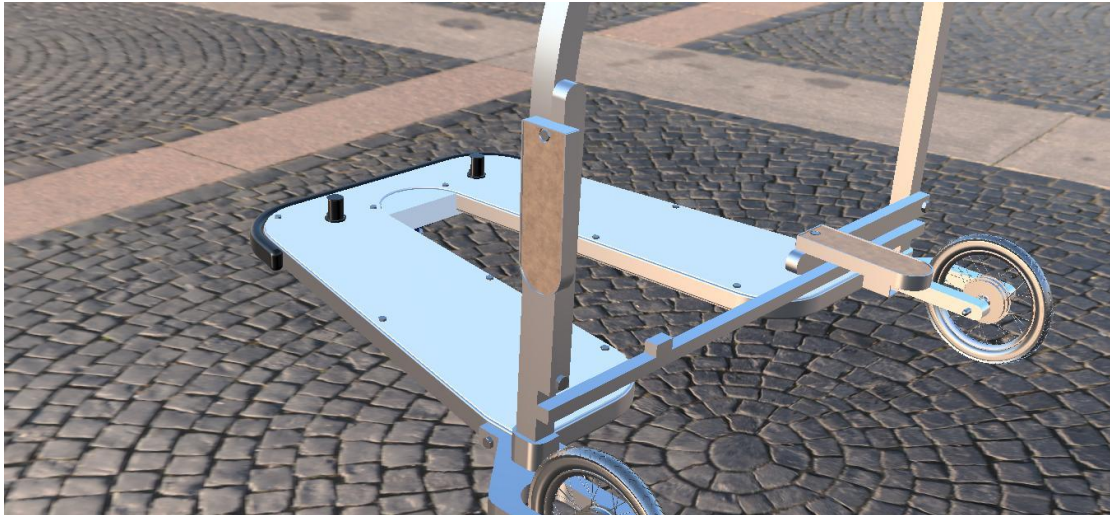


Εικόνα 12.20: Βάση χειριστηρίου

Καθ' όλη τη διάρκεια της πλοήγησης ο επιβάτης βρίσκεται πάνω στις ειδικές βάσεις για τα πόδια του. Όταν ο επιβάτης επιθυμεί να οδηγήσει την βάση μεταφοράς κατεβάζει τις βάσεις για τα πόδια (εικόνα 12.21), ενώ όταν η βάση τον ακολουθεί αυτές παραμένουν κλειστές και ασφαλισμένες σε όρθια θέση (εικόνα 12.22 και εικόνα 12.23).



Εικόνα 12.21: Βάσεις για τα πόδια «ανοιχτή θέση»

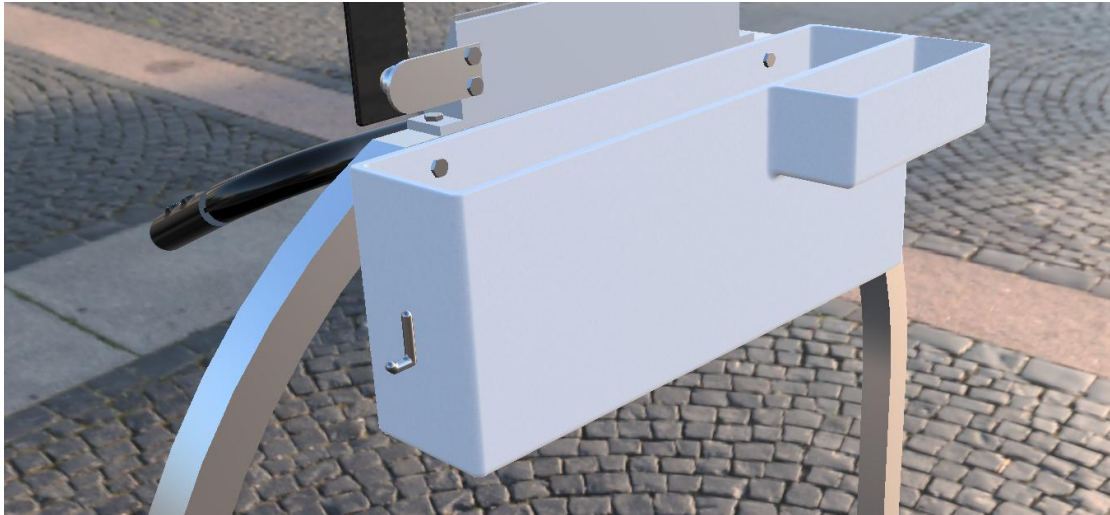


Εικόνα 12.22: Βάσεις για τα πόδια «κλειστή θέση»



Εικόνα 12.23: Ασφάλεια βάσης ποδιών

Ακριβώς πίσω από την οθόνη υπάρχουν δυο θήκες στις οποίες μπορούν να τοποθετηθούν διάφορα προσωπικά αντικείμενα του επιβάτη (εικόνα 12.24). Για παράδειγμα στην μικρή θήκη μπορούν να τοποθετηθούν κλειδιά, πορτοφόλια, μικρές τσάντες κ.τ.λ., ενώ στη μεγάλη θήκη μπορούν να τοποθετηθούν ζακέτες, μπουφάν, laptop ή και ομπρέλες. Συγκεκριμένα η μεγάλη θήκη έχει επικλινή βάση έτσι ώστε σε περίπτωση που τοποθετηθεί μέσα βρεγμένη ομπρέλα να μπορούν να απομακρυνθούν τα νερά χωρίς πρόβλημα μέσω του πώματος στην άκρη της βάσης (εικόνα 12.25). Υπάρχει επίσης ενσωματωμένη μια μικρή κρεμάστρα στην οποία μπορεί να κρεμαστεί κάποια τσάντα που δε χωράει στις παραπάνω θήκες.



Εικόνα 12.24: Θήκες για μικροαντικείμενα



Εικόνα 12.25: Πώμα βάσης

Η παρούσα μελέτη έχει λάβει υπόψη και την αποθήκευση των βάσεων έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται ο επιθυμητός αποθηκευτικός χώρος. Οι βάσεις θα μπορούν να φυλάσσονται ή μια πίσω από την άλλη όπως στην εικόνα 12.26 και την εικόνα 12.27. Επίσης κάθε μια από τις βάσεις θα είναι ικανή να μεταφέρει τουλάχιστον τρεις μεγάλες βαλίτσες διαστάσεων 78X48X29 cm (εικόνα 12.28).

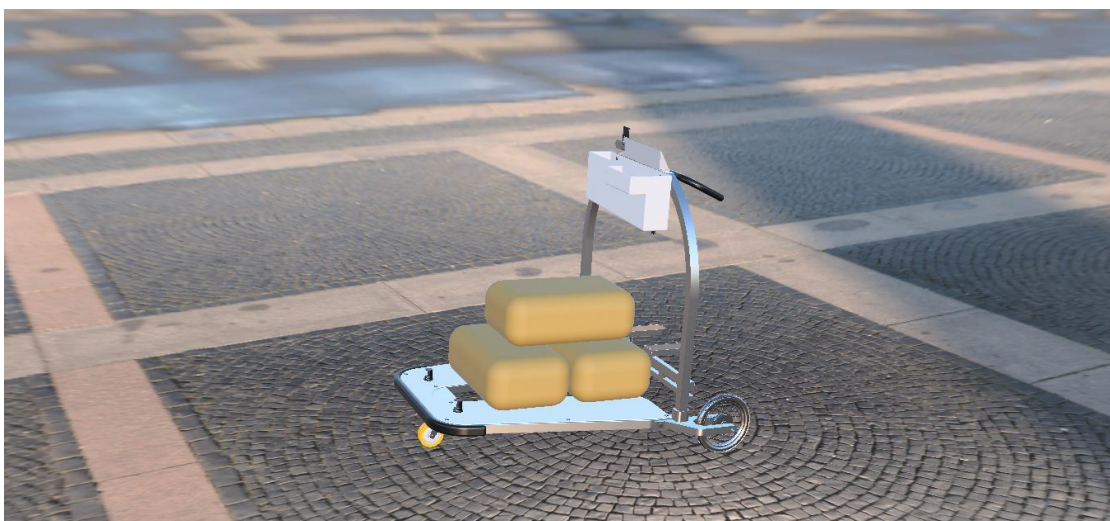
Η συγκεκριμένη πρόταση μπορεί να σχεδιαστεί σε μικρότερο μέγεθος έτσι ώστε ο επιβάτης να έχει τη δυνατότητα επιλογής του μεγέθους της βάσης μεταφοράς ανάλογα με τις ανάγκες του ή να τροποποιηθεί για να προσαρμοστεί στις ανάγκες κάποιας άλλης εφαρμογής.



Εικόνα 12.26: Αποθήκευση βάσεων



Εικόνα 12.27: Αποθήκευση βάσεων



Εικόνα 12.28: Βάση μεταφοράς με φορτίο

Μερικά χαρακτηριστικά της βάσης:

Μέγιστο μήκος	165 cm
Μέγιστο πλάτος	165 cm
Μέγιστο ύψος	160 cm
Άνοιγμα βάσης χεριών	80 cm
Υψομετρική διαφορά βάσης χεριών και βάσης ποδιών	100 cm

12.4 Άλλες εφαρμογές της βάσης μεταφοράς

Η παρούσα διπλωματική έχει μελετήσει την βάση μεταφοράς ως μια υπηρεσία στα αεροδρόμια, όπου κάθε επιβάτης θα έχει το δικαίωμα να τη χρησιμοποιεί για να διευκολύνει την μεταφορά των αποσκευών του στις εγκαταστάσεις του αεροδρομίου. Η χρησιμότητα της βάσης μεταφοράς δε περιορίζεται όμως μόνο σε αυτή την εφαρμογή. Παρακάτω παρατίθεται μια λίστα με πιθανές εναλλακτικές χρήσεις της βάσης.

Η βάση μεταφοράς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

1. Μεταφορά εργαλείων και αντικειμένων σε εργοτάξια.
2. Βοήθεια σε αγροτικές εργασίες για μεταφορά αγροτικών μηχανημάτων ή οπωροκηπευτικών.
3. Καροτσάκι του super market.

Γενικά μπορεί να αξιοποιηθεί σε οποιαδήποτε εργασία που είτε απαιτεί μεταφορά βαριών αντικειμένων για μεγάλο χρονικό διάστημα, είτε η μεταφορά των αντικειμένων δεν είναι η βασική εργασία.

12.5 Παρόμοιες ιδέες που έχουν υλοποιηθεί

Η ιδέα υλοποίησης μιας πλατφόρμας που θα είναι ικανή να μεταφέρει τις αποσκευές του επιβάτη στο αεροδρόμιο και να τον ακολουθεί έχει υλοποιηθεί, χωρίς όμως να υπάρχει κάποιο εμπορικό προϊόν στην αγορά.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση της ιδέας έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 6 και είναι η μέθοδος με την χρήση της κάμερας και η μέθοδος με τη χρήση υπερήχων ως δέκτες. Κατά την αρχική μελέτη και οι δυο αυτές μέθοδοι θεωρήθηκαν μη ικανές για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος για τους λόγους που έχουν αναφερθεί στο κεφάλαιο 6. Ταυτόχρονα η παρούσα λύση είναι μελετημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολη η μετατροπή της σε ένα πλήθος άλλων εφαρμογών, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες που εστιάζουν μόνο στο λύση του προβλήματος μεταφοράς αποσκευών

Παρακάτω παρατίθενται οι σύνδεσμοι που παρουσιάζουν τους εναλλακτικούς τρόπους επίτευξης της αυτόνομης μεταφοράς των αποσκευών.

- **NUA Robotics suitcase**

Σχετικό άρθρο: <http://mashable.com/2016/01/07/robot-suitcase/#bj54VXugkqqq>

Σελίδα στο Facebook: <https://www.facebook.com/NUA-Robotics-1511742662447506>

- **The Ben Heck Show**

Κανάλι του YouTube: https://www.youtube.com/channel/UChturLXwYxwTOF_5krs0qvA

Βίντεο παρουσίασης της ιδέας: <https://www.youtube.com/watch?v=tAyWrJoVUbs>

- **Λιβανέζικη ομάδα φοιτητών**

Σχετικό άρθρο: <http://yalibnan.com/2016/01/12/lebanese-students-invent-the-suitcase-of-the-future/>

Κεφάλαιο 13: Συμπεράσματα

13.1 Σχολιασμός και αποτελέσματα πειραμάτων

Μετά από μια σειρά δοκιμών, της λειτουργίας του κώδικα της πειραματικής βάσης μεταφοράς, που αφορούσαν την ικανότητα της να ακολουθεί το πομπό στις διαδρομές της εικόνας 9.1, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

Η αντίδραση του reDevil στην απομάκρυνση και την προσέγγιση ήταν ικανοποιητική. Αντιδρούσε γρήγορα στις μεταβολές του πομπού αλλά η σωστή λειτουργία του περιοριζόταν σε μια ακτίνα 80 cm με 90 cm.

Κατά την εκτέλεση της δεξιάς στροφής του πομπού το reDevil ακολουθούσε την πορεία του αρκετά ικανοποιητικά αλλά με μικρή ταχύτητα περιστροφής.

Κατά τη εκτέλεση της αριστερής στροφής το reDevil αντιδρούσε μόνο σε μια συγκεκριμένη περιοχή της κίνησης του πομπού. Σε όλες τις υπόλοιπες θέσης το reDevil κατευθυνόταν ευθεία ή σε ελάχιστες περιπτώσεις έστριβε δεξιά. Το αποτέλεσμα αυτό ήταν αναμενόμενο όπως αναφέρουμε και στο κεφάλαιο 9.

Με τα παραπάνω αποτελέσματα δε μπορεί αυτή η μέθοδος να θεωρηθεί αξιόπιστη για την υλοποίηση της βάσης μεταφοράς.

13.2 Προτάσεις για περεταίρω έλεγχο της αξιοπιστίας της μεθόδου και τρόποι βελτίωσης

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ο πομποδέκτης που λειτουργούσε ως πομπός έπαψε να λειτουργεί με αποτέλεσμα να μην ολοκληρωθούν όλα τα πειράματα που απαιτούνταν για την τεκμηρίωση της αξιοπιστίας της παραπάνω μεθόδου. Συγκεκριμένα :

Αρχικά απαιτείται ο έλεγχος της λειτουργίας του reDevil σε εξωτερικό χώρο. Στο περιβάλλον όπου έγιναν τα πειράματα υπήρχαν διάφορα μεταλλικά αντικείμενα τα οποία εν γένει επηρεάζουν το σήμα των πομποδεκτών. Με τη διεξαγωγή των πειραμάτων σε εξωτερικό χώρο θα γνωρίζουμε αν υπάρχει πρόβλημα στο πομποδέκτη λήψης (δέκτη) ή αν το πρόβλημα δημιουργείται από κάποιο αντικείμενο που κάνει παρεμβολές στο συγκεκριμένο χώρο του δωματίου που έγιναν τα πειράματα. Επίσης είναι αναγκαία η αντιμετάθεση των δεκτών, έτσι ώστε να παρατηρηθεί αν το πρόβλημα αντιστρέφεται. Παρόλα αυτά, πρέπει να αναφερθεί ότι από τα πρώτα κιόλας πειράματα στο κεφάλαιο 7 υπήρχαν ενδείξεις ελαττωματικής λειτουργίας του δεύτερου δέκτη.

Έπειτα, είναι απαραίτητη η λήψη μετρήσεων για την κατασκευή διαγράμματος μεταβολής της θέσης του πομπού και μέσης έντασης σήματος που λαμβάνουν οι δέκτες σε κάθε σημείο της μετατόπισης, με σκοπό, την τεκμηρίωση της συμπεριφοράς της έντασης του σήματος κατά την εκτέλεση των διαδρομών της εικόνας 9.1. Είναι βέβαια σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, η συμπεριφορά του reDevil ήταν απόλυτα αντιπροσωπευτική των διαγραμμάτων 9.1, 9.2, 9.5 και 9.8.

Σε κάθε περίπτωση, το συμπέρασμα της πειραματικής δοκιμής της παραπάνω μεθόδου είναι ότι δεν προτείνεται για αυτόνομη εμπορική λύση. Ο συνδυασμός της με τη με μια άλλη μέθοδο που έχει καλύτερα αποτελέσματα στην αντίληψη της πλάγιας μετατόπισης, όπως προτείνεται στο κεφάλαιο 10 είναι πολύ πιθανόν να δώσει σημαντικά βελτιωμένα αποτελέσματα.

Κεφάλαιο 14: Βιβλιογραφία

- [1] (Ηλεκτρονική πηγή) Ρομπότ, Βικολεξικό, το ελεύθερο λεξικό, διαθέσιμο: <https://el.wiktionary.org/wiki/%CF%81%CE%BF%CE%BC%CF%80%CF%8C%CF%84>.
- [2] (Ηλεκτρονική πηγή) Ρομποτική, Εργαστήριο ρομποτικής, διαθέσιμο: <http://users.sch.gr/jenyk/index.php/robotics>.
- [3] (Ηλεκτρονική πηγή) «Εισαγωγή στη ρομποτική», Ν. Βλάσης, διαθέσιμο: http://www.robolab.tuc.gr/ASSETS/PAPERS_PDF/ROBOTICS/2_INTRO.pdf.
- [4] Σχεδιασμός και προσδιορισμός λειτουργικών τμημάτων ρομποτικού οχήματος εξωτερικού χώρου, διπλωματική εργασία Ε. Μεριστούδη, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2016.
- [5] (Ηλεκτρονική πηγή) «The Difference Between ABS and PLA for 3D Printing», ProtoParadigm Website, διαθέσιμο: <http://www.protoparadigm.com/news-updates/the-difference-between-abs-and-pla-for-3d-printing/>.
- [6] (Ηλεκτρονική πηγή) function map(), Arduino Website, διαθέσιμο: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Map>.
- [7] (Ηλεκτρονική πηγή) «Sleep Apnea Detection on Smartphones» ApneaApp Website, διαθέσιμο: <http://apnea.cs.washington.edu/>.
- [8] (Ηλεκτρονική πηγή) Differential Drive Kinematics, University of Columbia, διαθέσιμο: <https://chess.eecs.berkeley.edu/eecs149/documentation/differentialDrive.pdf>.
- [9] (Ηλεκτρονική πηγή) «Wi-Fi Location-Based Services 4.1 Design Guide», Location Tracking Approaches, Cisco Website, διαθέσιμο: <http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/solutions/Enterprise/Mobility/WiFiLBS-DG/wifich2.html>.
- [10] (Ηλεκτρονική πηγή) Προτυποποίηση, CadLab Website, διαθέσιμο: <http://www.cadlab.tuc.gr/courses/prodev/RP.pdf>.
- [11] KARL T. URLICH, STEVEN D.EPPINGER, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ. (5^η Έκδοση). (Ν. Μπιλάλης, Μετ.).
- [12] (Ηλεκτρονική πηγή) Ultrasonic transducer, From Wikipedia, the free encyclopedia, διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_transducer.
- [13] (Ηλεκτρονική πηγή) Laminated object manufacturing, From Wikipedia, the free encyclopedia, διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Laminated_object_manufacturing.
- [14] (Ηλεκτρονική πηγή) Polylactic acid, From Wikipedia, the free encyclopedia, διαθέσιμο: https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid.

[15] (Ηλεκτρονική πηγή) Caster wheel, Bojan Maksimovic, Grabcad Website, διαθέσιμο:
<https://grabcad.com/library/caster-wheel-12>

[16] (Ηλεκτρονική πηγή) Bicycle - rear wheel assy - 24" rim, 3" tire, Crystalyte HT hub-motor and 203mm disk brake, SG, Grabcad Website, διαθέσιμο:
<https://grabcad.com/library/bicycle-rear-wheel-assy-24-rim-3-tire-crystalyte-ht-hub-motor-and-203mm-disk-brake>