



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Αυτόνομη Εξερεύνηση Πολύπλοκων Χώρων με Χρήση Επίγειου Ρομποτικού Οχήματος

ΒΑΣΙΟΥΡΗΣ ΘΩΜΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΡΑΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής

Λαμία 10 Μαρτίου έτος 2024

[Πληκτρολογήστε εδώ]



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Αυτόνομη Εξερεύνηση Πολύπλοκων Χώρων με Χρήση Επίγειου Ρομποτικού Οχήματος

ΒΑΣΙΟΥΡΗΣ ΘΩΜΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΑΡΡΑΣ
Αναπληρωτής Καθηγητής

Λαμία 10 Μαρτίου έτος 2024

[Πληκτρολογήστε εδώ]



UNIVERSITY OF
THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

DEPARTMENT OF COMPUTER SCIENCE & TELECOMMUNICATIONS

Autonomous Exploration of Complex Workspaces Using a Ground Robot Vehicle

BASIOURIS THOMAS

FINAL THESIS

ADVISOR

GEORGIOS KARRAS
Associate Professor

Lamia March 10 year 2024

[Πληκτρολογήστε εδώ]

«Με ατομική μου ευθύνη και γνωρίζοντας τις κυρώσεις ⁽¹⁾, που προβλέπονται από της διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:

1. Δεν παραθέτω κομμάτια βιβλίων ή άρθρων ή εργασιών άλλων αυτολεξεί **χωρίς να τα περικλείω σε εισαγωγικά** και χωρίς να αναφέρω το συγγραφέα, τη χρονολογία, τη σελίδα. Η αυτολεξεί παράθεση χωρίς εισαγωγικά χωρίς αναφορά στην πηγή, είναι λογοκλοπή. Πέραν της αυτολεξεί παράθεσης, λογοκλοπή θεωρείται και η παράφραση εδαφίων από έργα άλλων, συμπεριλαμβανομένων και έργων συμφοιτητών μου, καθώς και η παράθεση στοιχείων που άλλοι συνέλεξαν ή επεξεργάστηκαν, χωρίς αναφορά στην πηγή. Αναφέρω πάντοτε με πληρότητα την πηγή κάτω από τον πίνακα ή σχέδιο, όπως στα παραθέματα.
2. Δέχομαι ότι η αυτολεξεί **παράθεση χωρίς εισαγωγικά**, ακόμα κι αν συνοδεύεται από αναφορά στην πηγή σε κάποιο άλλο σημείο του κειμένου ή στο τέλος του, είναι αντιγραφή. Η αναφορά στην πηγή στο τέλος π.χ. μιας παραγράφου ή μιας σελίδας, δεν δικαιολογεί συρραφή εδαφίων έργου άλλου συγγραφέα, έστω και παραφρασμένων, και παρουσίασή τους ως δική μου εργασία.
3. Δέχομαι ότι υπάρχει επίσης περιορισμός στο μέγεθος και στη συχνότητα των παραθεμάτων που μπορώ να εντάξω στην εργασία μου εντός εισαγωγικών. Κάθε μεγάλο παράθεμα (π.χ. σε πίνακα ή πλαίσιο, κλπ), προϋποθέτει ειδικές ρυθμίσεις, και όταν δημοσιεύεται προϋποθέτει την άδεια του συγγραφέα ή του εκδότη. Το ίδιο και οι πίνακες και τα σχέδια
4. Δέχομαι όλες τις συνέπειες σε περίπτωση λογοκλοπής ή αντιγραφής.

Ημερομηνία: 10/03/2024

Ο Δηλών

(1) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον περιουσιακό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.»

[Πληκτρολογήστε εδώ]

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία που ακολουθεί αποτελεί μια μελέτη, η οποία έχει σαν κεντρική θεματολογία την χρησιμοποίηση ενός αυτόνομου ρομποτικού οχήματος για την εξερεύνηση ενός ορισμένου χώρου ο οποίος όμως δεν είναι χαρτογραφημένος. Ο κεντρικός πυλώνας πάνω στον οποίο αναπτύχθηκε η εν λόγω πτυχιακή είναι η μεταχείριση αυτού του οχήματος, έτσι ώστε να πραγματοποιεί μια πληθώρα ενεργειών μεταξύ των οποίων, είναι η κίνηση και ανάληψη αποφάσεων για την εξερεύνηση του χώρου, με απώτερο σκοπό την χρήση του οχήματος για την βελτίωση της καθημερινής και της επαγγελματικής πραγματικότητας.

Η μελέτη αυτή αναπτύχθηκε συνολικά στο λειτουργικό σύστημα Linux Ubuntu 20.04. Για την υλοποίηση των πακέτων λογισμικού που δοκιμάστηκαν έγινε χρήση της πλατφόρμας Ros Noetic.

Με τα παραπάνω στοιχεία υπόψη, κατασκευάστηκαν δύο χάρτες κλειστού χώρου με στατικά εμπόδια, χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ανάπτυξης περιβάλλοντος Gazebo. Οι προσομοιώσεις των πειραμάτων καθώς επίσης και η

παρακολούθηση σε ζωντανή μετάδοση της πορείας του ρομποτικού οχήματος πραγματοποιήθηκαν με την βοήθεια του εργαλείου Rviz, τέλος η εκτέλεση των πακέτων έγινε μέσω του τερματικού του λογισμικού Ubuntu Linux.

ABSTRACT

The thesis that follows is a study, which has as its central theme the use of an autonomous robotic vehicle for the exploration of a certain area which is not mapped. The central pillar on which this work was developed is the use of this vehicle, so that it carries out a multitude of actions, among which is the movement and decision-making for the exploration of the space, with the ultimate purpose of using the vehicle for improvement of everyday and professional life.

This research study was developed entirely on Linux Ubuntu 20.04 operating system. The Ros Noetic platform was used for the implementation of the tested software packages.

With the above in mind, two indoor maps were covered with static obstacles using the Gazebo environment development tools. The simulations of the experiments as well as the live monitoring of the motion of the robotic vehicle were carried out with the help of the Rviz tool, finally the execution of the packages was done through the terminal of the Ubuntu Linux software.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	0
ABSTRACT.....	3
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ.....	7
 ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ.....	7
ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	8
 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΟΜΠΟΤ.....	8
 ΕΝΑΕΡΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	9
ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	11
ΤΡΟΧΟΦΟΡΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ.....	12
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	15
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ROS.....	16
 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ROS.....	16
Master.....	17
Node.....	18
Package.....	19
RViz.....	20
GAZEBO.....	20
ROS Noetic Ninjemys.....	22
TURTLEBOT3.....	24
ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ TURTLEBOT3.....	27
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΩΡΟΥ.....	30
 SLAM (SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING).....	30
 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ SLAM.....	31
 Ρομπότ καθαριότητας.....	31
Ιατρικά Ρομπότ.....	33
Αυτοοδηγούμενα Αυτοκίνητα.....	33
ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ.....	34
MOVE BASE.....	36
EXPLORE LITE.....	37

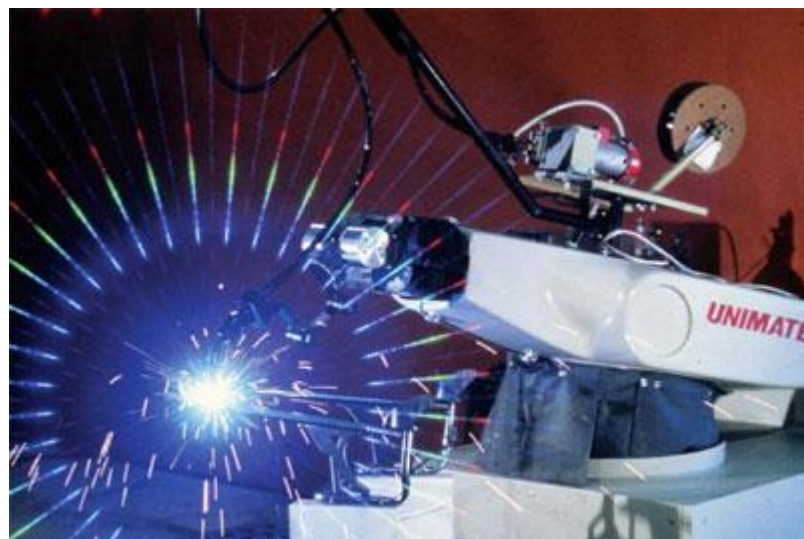
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΕΞΟΜΟΙΩΣΕΙΣ.....</u>	<u>40</u>
<u>ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ.....</u>	<u>42</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</u>	<u>60</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>62</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Εισαγωγή Στην Ρομποτική

ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

Σύμφωνα με το λεξικό Cambridge [1] το ρομπότ είναι μια μηχανή η οποία ελέγχεται από έναν υπολογιστή και χρησιμοποιείται για να πραγματοποιεί μια εργασία αυτόματα.

Η λέξη ρομπότ προέρχεται από την λογοτεχνία και συγκεκριμένα από το έργο του Τσέχου συγγραφέα Karel Capek R.U.R.(Rossum's Universal Robots) [2] το 1921, παρόλο που στο συγκεκριμένο έργο τα ρομπότ παρουσιάζονται με αρνητική χροιά. Έκτοτε και κατά την δεκαετία του 1960 μπήκε σε μαζική παραγωγή το Unimate το οποίο χρησιμοποιήθηκε στα εργοστάσια της General Motors.



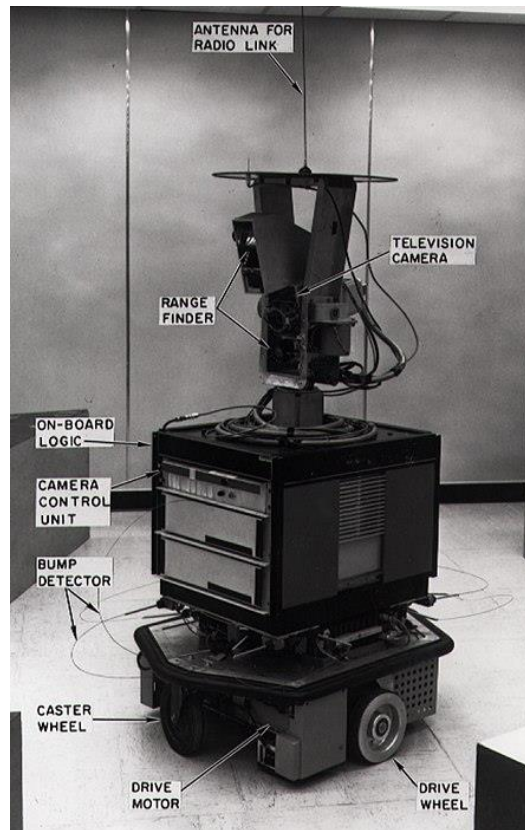
Εικόνα 1 Unimate[3]

Σήμερα τα ρομπότ κατέχουν περίοπτη θέση και αναπτύσσονται σε ταχύτατους ρυθμούς τόσο στο μηχανικό όσο και στο λογισμικό μέρος, χάρη στην πρόοδο στους αισθητήρες, την τεχνητή νοημοσύνη και τους επεξεργαστές που τους επιτρέπουν να κάνουν ολοένα και πιο περίπλοκες ενέργειες.

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ

Τα αυτόνομα οχήματα αποτελούν ρομπότ που έχουν την ικανότητα να μετακινούνται από ένα σημείο προς ένα άλλο χωρίς εξωτερική βοήθεια ή παρέμβαση, έχουν τη δυνατότητα δηλαδή να μετακινούνται ελεύθερα μέσα σε έναν προκαθορισμένο ή μη χώρο έτσι ώστε να εκτελούν τις εργασίες που τους αναθέτονται. Αυτή η ιδιότητα τα κάνει κατάλληλα για την εκτέλεση ποικίλων εφαρμογών, τόσο σε προκαθορισμένους όσο και σε αγνώστους χώρους.

Κάθε αυτόνομο ρομποτικό όχημα πρέπει να μπορεί να απαντήσει σε τρία βασικά ερωτήματα, πρώτον που βρίσκεται δηλαδή ποια είναι η θέση του βάσει συντεταγμένων, δεύτερον ποιος είναι ο προορισμός του είτε τελικός είτε προσωρινός και τρίτον ποια πορεία θα ακολουθηθεί για την άφιξη στον προορισμό. Η δεκαετία του 1960 αποτέλεσε



Εικόνα 2 Shakey Robot[4]

ορόσημο στην ρομποτική καθώς αναπτύχθηκε το πρώτο ρομπότ με δυνατότητες κίνησης και χαρτογράφησης από την SRI International επωνομαζόμενο Shakey.

Κατηγορίες ρομπότ

Όπως είδαμε παραπάνω υπάρχουν δυο ειδών ρομπότ με φυσική υπόσταση, αυτά με σταθερή και αυτά με κινούμενη βάση. Στην περίπτωση της στατικής βάσης συναντάμε βιομηχανικά ρομπότ όπως ρομποτικούς βραχίονες οι οποίοι εκτελούν συγκεκριμένες ενέργειες στην γραμμή παραγωγής. Ο λόγος ύπαρξης τέτοιων ρομπότ είναι η αύξηση της ταχύτητας παραγωγής στις επαναλαμβανόμενες κινήσεις.



Εικόνα 3 Βιομηχανικός βραχίονας[5]

Εναέρια ρομποτικά οχήματα

Στην κατηγορία των εναέριων ρομπότ εντάσσονται όλα τα drones η UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) τα οποία έχουν την ικανότητα πτήσης. Σε αυτό τον τύπο ρομπότ είναι ποιο συχνή η παρουσία των τηλεχειριζόμενων από ότι των αυτοκινουμένων συστημάτων λόγω των πολύ υψηλών ταχυτήτων και μεγάλου βαθμού επικινδυνότητας. Τα drones αναπτυχθήκαν αρχικά για εξυπηρετούν στρατιωτικούς σκοπούς, ωστόσο έχουν πλέον περάσει στην καθημερινότητα και εξυπηρετούν τόσο επαγγελματικούς σκοπούς όπως την παρακολούθηση μεγάλων εκτάσεων καλλιέργειας όσο και ψυχαγωγικούς με την κινηματογράφηση και λήψη εναέριων φωτογραφιών και βίντεο.



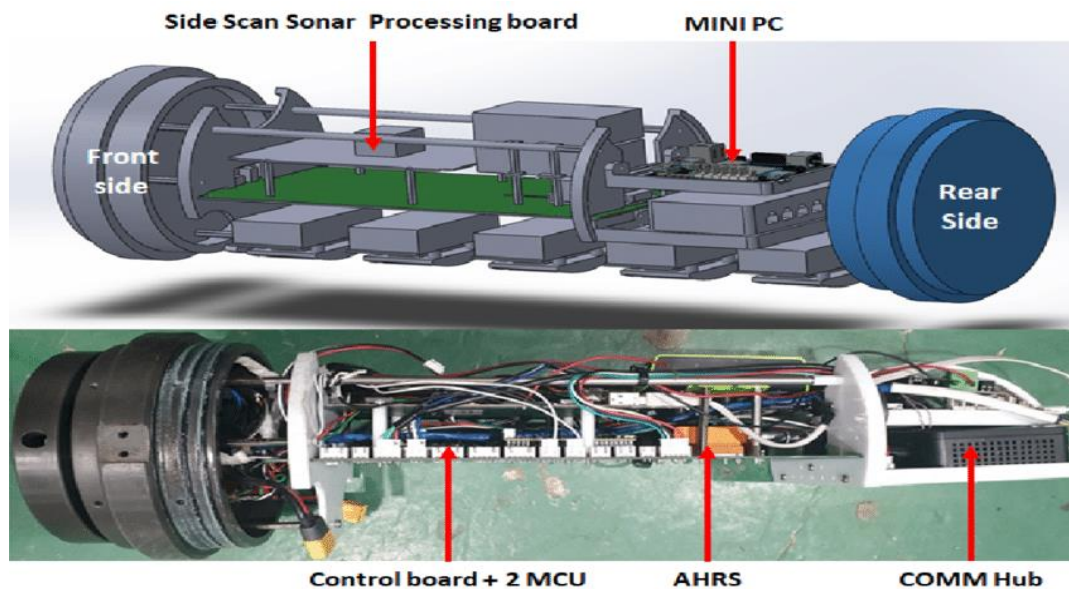
Εικόνα 4 drone παρακολουθεί καλλιέργεια [6]



Εικόνα 5 drone Κινηματογράφησης [7]

Υποβρύχια Ρομποτικά οχήματα

Τα ρομπότ αυτού του τύπου έχουν σχεδιαστεί για να επιχειρούν στο εσωτερικό της θάλασσας με στόχο την εξερεύνηση ή την ερευνά και διάσωση. Μπήκαν σε χρήση κατά την δεκαετία του 1950 από τις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για την εξερεύνηση του Αρκτικού κύκλου.



Εικόνα 6 διάταξη αυτονόμου υποβρυχίου οχήματος [8]



Εικόνα 7 Starbug underwater vehicle [9]

Τροχοφόρα Ρομπωτικά Οχήματα

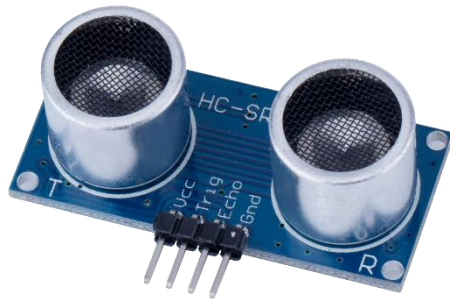
Η συγκεκριμένη κατηγορία ρομπότ είναι αυτή που θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία. Το τροχοφόρο ρομπότ αποτελεί μια πολύ δημοφιλή κατηγορία των οποίων η κίνηση καθορίζεται από τους περιορισμούς της κύλισης των τροχών. Η ευστάθεια ενός τέτοιου ρομπότ επιτυγχάνετε με ελάχιστο εγγυημένο αριθμό τροχών τις τρεις ροδές με το κέντρο βάρους να βρίσκεται εντός του τριγώνου που σχηματίζεται από το σημείο επαφής των τροχών με το έδαφος.



Εικόνα 8 Mars rovers [10]

Όπως και στις προηγούμενες κατηγορίες ρομπότ, ένα τροχοφόρο θα πρέπει να έχει ένα μοντέλο του χάρτη στον οποίο θα κινηθεί. Αυτό το μοντέλο χάρτη μπορεί να είναι άγνωστο και όπως θα αναλυθεί και σε επόμενο κεφάλαιο θα πρέπει το ρομπότ να το κατασκευάσει. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό ενός αυτόνομου οχήματος είναι ο έλεγχος κίνησης, δηλαδή η σχεδίαση και εκτέλεση αποφάσεων ως προς την διαδρομή που θα ακολουθήσει.

Ένα αυτόνομο ρομπωτικό όχημα ανεξάρτητα από το αν είναι ιπτάμενο, υποβρύχιο ή επίγειο χρησιμοποιεί αισθητήρες για να προσανατολιστεί και να αντλήσει πληροφορίες τις οποίες αξιοποιεί για να κινηθεί και να αποφύγει εμπόδια. Οι αισθητήρες αυτοί χωρίζονται σε ενεργητικούς και παθητικούς. Ενεργητικοί αισθητήρες είναι για παράδειγμα οι υπερηχητικοί και οι αισθητήρες λέιζερ.



Εικόνα 9 Ultra sound sensor [11]



Εικόνα 10 LiDAR Sensor [12]

Στους παθητικούς αισθητήρες συμπεριλαμβάνονται οι κάμερες και οι αισθητήρες αφής.



Εικόνα 11 RGB-D Camera [13]



Εικόνα 12 IP67 Tactile Switch[14]

Τέλος τα τροχοφόρα ρομπότ χρησιμοποιούνται για μια πληθώρα ενεργειών όπως η καθαριότητα εσωτερικών χώρων η καλλιέργεια γεωργικών εκτάσεων μέχρι και η εξερεύνηση πλανητών.



Εικόνα 13 Xiaomi Mi Robot Vacuum Mop P [15]



Εικόνα 14 Παρακολούθηση καλλιέργειας στην Αυστραλία [16]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Εισαγωγή

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναπτύχθηκε με σκοπό την εξερεύνηση του κατά πόσο μπορεί ένα αυτόνομο ρομποτικό όχημα να προηγηθεί μέσα σε έναν κλειστό χώρο, είτε αυτός αποτελεί ένα διαμέρισμα, είτε μια αποθήκη. Στα πλαίσια δημιουργίας αυτής της εργασίας μελετήθηκαν οι παρουσιάσεις του μαθήματος ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΟΧΗΜΑΤΑ έτσι ώστε να αποκτηθεί μια σφαιρική άποψη για τις βασικές αρχές λειτουργίας ενός ρομπότ. Σε αυτές τις διαλέξεις βλέπουμε εργαλεία όπως οι αισθητήρες ενός οχήματος και μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την λήψη αποφάσεων από το ρομπότ τα οποία θα δούμε στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Ένα ακόμη σύνολο διαλέξεων που μελετήθηκε είναι αυτό του μαθήματος ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ όπου αναλύεται το ROS (Robot Operating System). Εκτός από τις παραπάνω παρουσιάσεις για αποκτηθεί βαθύτερη γνώση στον τρόπο λειτουργίας της πλατφόρμας ROS, ως προς την εφαρμογή του σε πρακτικό επίπεδο έγινε ανάγνωση του συγγράμματος ROS Robot Programming: From the basic concept to practical programming and robot application των YoonSeok Pyo, HanCheol Cho, RyuWoon Jung, TaeHoon Lim. Η βασική πύλη πληροφοριών Ros wiki έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ανεύρεση πληροφοριών που είχαν να κάνουν με τα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την πτυχιακή εργασία.

Διάρθρωση της Πτυχιακής Εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Στο πρώτο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στον κόσμο των ρομπότ και ποιο συγκεκριμένα στα αυτόνομα ρομποτικά οχήματα. Μέσα σε αυτό το κεφάλαιο κατηγοριοποιήθηκαν τα ρομπότ με βάση τον χώρο δράσης τους, όπως ιπτάμενα, επίγεια και υποβρύχια. Επίσης είδαμε μια σύντομη ανάδρομη στην ιστορία των ρομπότ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Στο δεύτερο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται μια ανασκόπηση των κεφαλαίων και των περιεχόμενων τους με σκοπό την κατανόηση και την απόκτηση μιας γενικής εικόνας που θα βοηθήσει στην επεξεργασία των διάφορων σημείων της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κυρία στοιχεία αυτής της πτυχιακής, είτε αυτά αποτελούν την πλατφόρμα ROS με τα μέρη που

αποτελείται, είτε εργαλεία που βοηθούν στην εκτέλεση των προσομοιώσεων όπως το Gazebo και το Rviz. Το συγκεκριμένο κεφάλαιο αποτελεί μια συγκεκριμένη εισαγωγή στα τεχνικά μέρη που χρησιμοποιούνται στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Στο τέταρτο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής παρουσιάζονται τα πακέτα του ROS που χρησιμοποιήθηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που έγιναν όπως επίσης και οι εντολές που εκτελέστηκαν τμηματικά στο τερματικό του υπολογιστή, περιγράφοντας παράλληλα την λειτουργία που τίθεται σε εφαρμογή με κάθε εκτέλεση εντολής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο αυτής της πτυχιακής περιγράφονται τα συμπεράσματα που βγήκαν και οι παρατηρήσεις πάνω στο κομμάτι της αυτόνομης εξερεύνησης με χρήση επίγειου ρομποτικού οχήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ROS

Εισαγωγή

Για να γίνει η αυτόνομη εξερεύνηση χώρου πραγματικότητα πρέπει να υπάρχουν όλα εκείνα τα εργαλεία τα οποία να επιτρέπουν στον μηχανικό να αναπτύξει το περιβάλλον, τους κανόνες και την γενική αποστολή που θα πρέπει να φέρει σε πέρας το ρομπότ. Παρόμοια το ρομπότ για να λειτουργήσει θα πρέπει να έχει το απαραίτητο λογισμικό διαθέσιμο. Παρακάτω θα γίνει ανάλυση των εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Βασικές Αρχές ROS

Το Robot Operating System (ROS) είναι ένα σύνολο βιβλιοθηκών λογισμικού και εργαλείων που βοηθούν τους επιστήμονες/μηχανικούς να δημιουργήσουν εφαρμογές ρομπότ. Από προγράμματα οδήγησης μέχρι αλγόριθμους

τελευταίας τεχνολογίας και με ισχυρά εργαλεία προγραμματισμού. Αναπτύχθηκε αρχικά το 2007 στο εργαστήριο Stanford Artificial Intelligence και σήμερα χρησιμοποιείται από πληθώρα πανεπιστημίων και εταιρειών[17]. Ο λόγος ύπαρξης του ROS είναι ότι προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η επαναχρησιμοποίηση ενός προγράμματος καθώς ο χρήστης μπορεί να εστιάσει σε ένα χαρακτηριστικό και να κατεβάσει το ανάλογο πακέτο. Με αυτόν τον τρόπο γλυτώνει πολύτιμο χρόνο στην ανάπτυξη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι η NASA έκανε χρήση προγραμμάτων και οδηγών από το ROS για τον έλεγχο του Robonaut. Ένα ακόμη πλεονέκτημα που προσφέρει το ROS είναι η διαίρεση ενός προγράμματος σε μικρότερα μέρη μέσω συναρτήσεων. Η επικοινωνία όλων των αυτών των μίνι προγραμμάτων γίνεται με την χρήση κόμβων επικοινωνίας που μεταφέρουν δεδομένα προσφέροντας έτσι μεγαλύτερη ταχύτητα στην επεξεργασία και στον έλεγχο του λογισμικού. Πέρα από τα θετικά στοιχεία του ROS που προέρχονται από την αρχιτεκτονική του, προσφέρει επίσης υποστήριξη για εργαλεία αποσφαλμάτωσης, δισδιάστατης και τρισδιάστατης οπτικοποίησης. Ακόμη, υπάρχει μια τεράστια κοινότητα από εκπαιδευτικά ιδρύματα, επιχειρήσεις και ατομικούς προγραμματιστές οι οποίοι μοιράζονται τις ιδίες πληροφορίες ταυτόχρονα, μειώνοντας έτσι σημαντικά τον χρόνο επίλυσης των όποιων προβλημάτων προκύπτουν. Τέλος, το ROS προσφέρει ένα οικοσύστημα παρόμοιο με αυτό του Android και iOS υπό την έννοια ότι κατηγοριοποιεί όλες τις εφαρμογές και βιβλιοθήκες που αναπτύσσονται [18].

Master

Είναι ο διακομιστής (server) ονομάτων για συνδέσεις τύπου peer-to-peer καθώς επίσης και την επικοινωνία μηνυμάτων. Πρακτικά ο master εκτελείται μέσω της εντολής τερματικού `roscore` δίνοντας έτσι την δυνατότητα καταχώρισης των ονομάτων κάθε κόμβου. Ο master επικοινωνεί μέσω κόμβων χρησιμοποιώντας XMLRPC (XML-Remote Procedure Call), το οποίο είναι ένα HTTP πρωτόκολλο. Με άλλα λόγια, οι «slave» κόμβοι μπορούν να έχουν πρόσβαση μόνο όταν χρειάζεται να καταχωρήσουν τις δικές τους πληροφορίες ή να ζητήσουν πληροφορίες για άλλους κόμβους. Το ROS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύπλοκα περιβάλλοντα και υποστηρίζει πολλές γλώσσες προγραμματισμού (C++, Python, Matlab κλπ.). Η επικοινωνία μέσω μηνυμάτων, services και actions είναι αδύνατη χωρίς τον master.

```
roscore http://ROSDEV:11311/
ibaranov@ROSDEV:~$ roscore
... logging to /home/ibaranov/.ros/log/115868b0-76fe-11e3-a540-000c294d48a1/rosl
aunch-ROSDEV-4593.log
Checking log directory for disk usage. This may take awhile.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

started roslaunch server http://ROSDEV:54414/
ros_comm version 1.9.50

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /roscdistro
* /rosversion

NODES

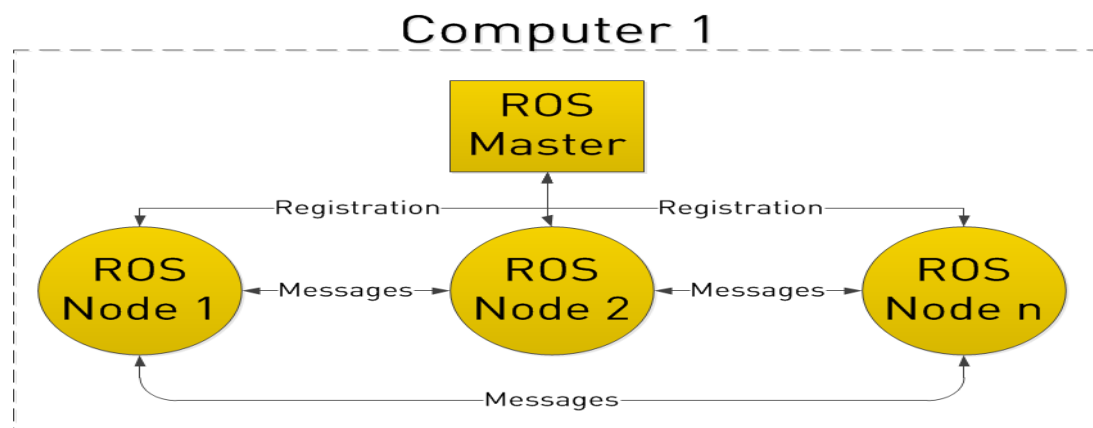
auto-starting new master
process[master]: started with pid [4607]
ROS_MASTER_URI=http://ROSDEV:11311/

setting /run_id to 115868b0-76fe-11e3-a540-000c294d48a1
process[roscout-1]: started with pid [4620]
started core service [/roscout]
```

Εικόνα 15 παράδειγμα εκτέλεσης roscore σε τερματικό [19]

Node

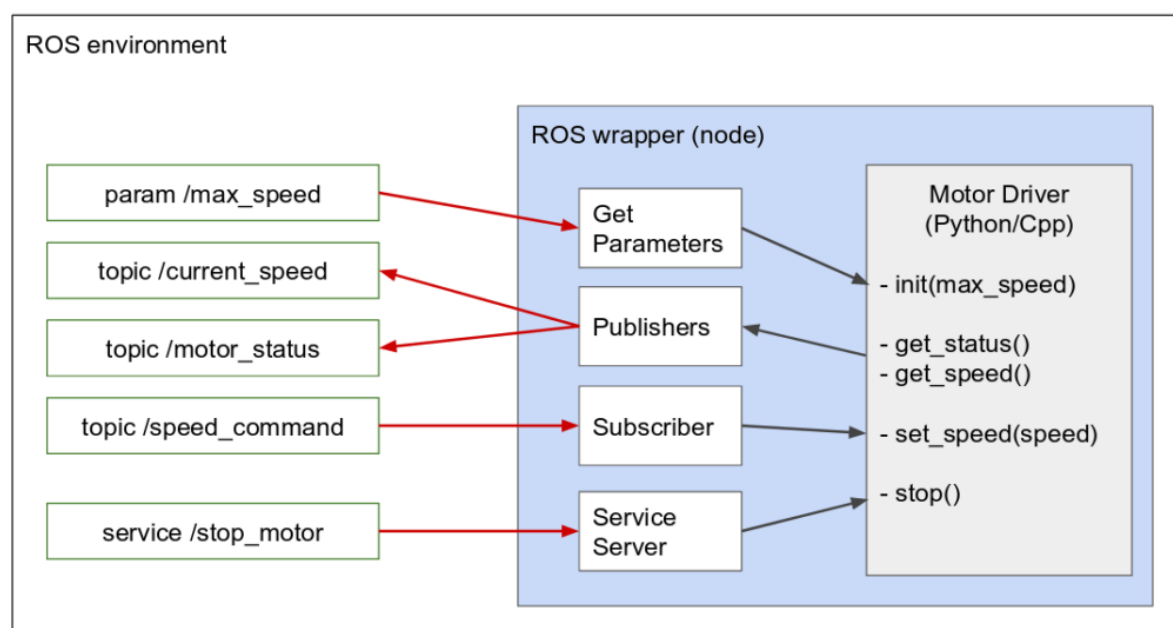
Ο κόμβος(node) είναι στην ουσία ένα αυτοτελές πρόγραμμα το οποίο εκτελείται στο ROS. Για κάθε ενέργεια που χρειάζεται να κάνει το ρομπότ, όπως είναι η αναγνώριση εμποδίων, η πλοήγηση και η επεξεργασία των δεδομένων των αισθητήρων πρέπει να δημιουργηθεί ένας κόμβος. Για να λειτουργήσει ένας κόμβος πρέπει να καταχωρήσει κατά την εκκίνηση του, το όνομα, τον τύπο μηνυμάτων που χρησιμοποιεί, αλλά και την διεύθυνση URI (Uniform Resource Identifier) με τον αριθμό θύρας του κόμβου. Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο XMLRPC(XML-Remote Procedure Call) για την επικοινωνία με τον master και με τους υπολοίπους κόμβους με τους οποίους μπορούν να ανταλλάσσουν μηνύματα.



Εικόνα 16 Αρχιτεκτονική Κόμβων [20]

Package

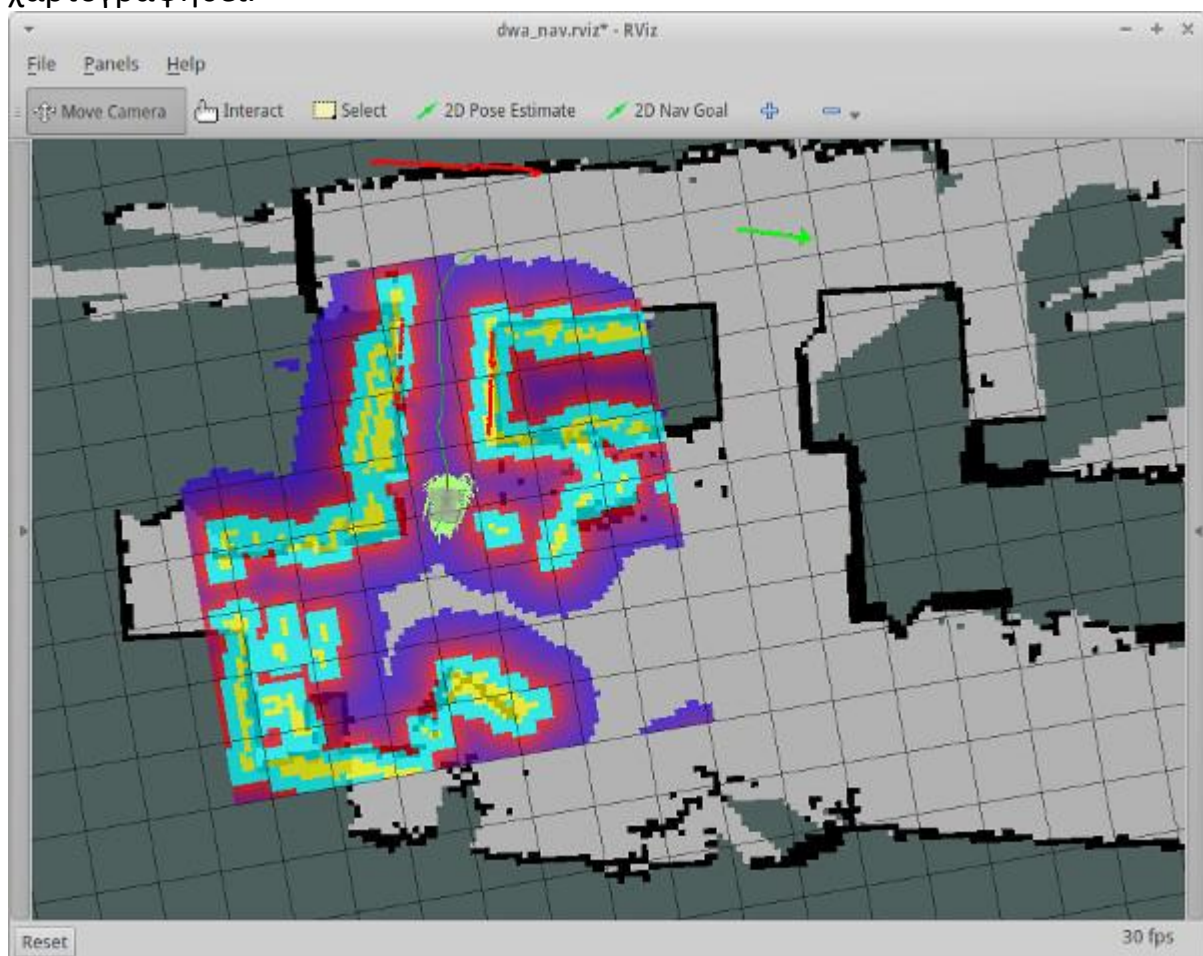
Ένα πακέτο αποτελεί τον κύριο πυλώνα του ROS καθώς περιλαμβάνει όλα τα αρχεία που χρειάζονται για την εκτέλεση κάποιου άλλου εξαρτωμένου πακέτου ή κόμβου. Επίσης, περιλαμβάνει τις εξαρτώμενες βιβλιοθήκες για την εκτέλεση διεργασιών. Η γενική φιλοσοφία ενός πακέτου επομένως είναι η εύκολη επαναχρησιμοποίηση του η οποία συμβαδίζει με την λειτουργικότητα χωρίς όμως να κάνει το πακέτο δύσκολο στην εκτέλεση του από άλλο λογισμικό [21].



Εικόνα 17 Πακέτο ROS για την οδήγηση ενός οχήματος [22]

RViz

Το Rviz είναι ένα εργαλείο του ROS το οποίο οπτικοποιεί την κίνηση ενός ρομπότ σε πραγματικό χρόνο, καθώς και τις αποστάσεις τις οποίες λαμβάνει το ρομπότ όταν αυτό χρησιμοποιεί τους αισθητήρες του (π.χ. Laser Scanner). Μέσω του Rviz μπορεί να γίνει αρχικοποίηση της θέσης του ρομπότ όταν αυτό ενεργοποιείται για πρώτη φορά. Επίσης είναι εφικτή η υπόδειξη στο ρομπότ ενός τελικού προορισμού με την προϋπόθεση ότι ο χώρος έχει προηγουμένως χαρτογραφηθεί.



Εικόνα 18 Οπτικοποίηση κίνησης Rviz [23]

GAZEBO

Το gazebo είναι ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία που έχει στην διάθεση του κάποιος που θέλει να εξομοιώσει την κίνηση ενός αυτονόμου ρομποτικού οχήματος. Το gazebo προσφέρει την δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει έναν πλήρη τρισδιάστατο χάρτη με όλα τα απαραίτητα στοιχεία όπως τοίχους,

έπιπλα, και αντικείμενα τα οποία το ρομπότ αναγνωρίζει και πλοηγείτε ανάλογα. Το gazebo ξεκίνησε επισήμως το 2002 και έκτοτε αναπτύσσεται αδιάκοπα.



Εικόνα 19 Παράδειγμα χάρτη στο GAZEBO [24]

Το gazebo προσφέρει επίσης πληθώρα πλεονεκτημάτων όπως:

1. **Γενικότητα:** Το Gazebo δεν ειδικεύεται σε έναν τύπο ρομπότ. Τα χαρακτηριστικά του προορίζονται για να εφαρμόζονται σε όσο το δυνατόν περισσότερες χρήσεις στη ρομποτική.
2. **Σταθερότητα:** Οι σταθερές εκδόσεις παρέχονται στην κοινότητα περιοδικά. Οι επακόλουθες βελτιώσεις σε σταθερές εκδόσεις προσπαθούν να διατηρήσουν τη συμβατότητα του API, του ABI και της συμπεριφοράς προς τα πίσω. Οι έκτακτες αλλαγές στοχεύουν σε μια επερχόμενη κυκλοφορία.
3. **Ενημερώσεις:** Νέες λειτουργίες συμβατές προς τα πίσω προστίθενται σε σταθερές εκδόσεις όποτε είναι δυνατόν. Με αυτόν τον τρόπο, οι χρήστες μπορούν να επωφεληθούν από τις νέες δυνατότητες χωρίς να απαιτείται αναβάθμιση σε μεταγενέστερη έκδοση και μπορούν να αναβάλουν τις προσπάθειες αναβάθμισης έως ότου χρειαστούν σημαντικές αλλαγές.
4. **Ευκολία χρήσης:** Οι προεπιλεγμένες συμπεριφορές είναι φιλικές προς τους αρχάριους. Για παράδειγμα, από προεπιλογή, το Gazebo ξεκινά να εκτελεί μια γραφική διεπαφή.

5. **Επεκτασιμότητα:** Οι χρήστες δεν χρειάζεται να διαχωρίσουν τις βασικές βιβλιοθήκες ή να μεταγλωττίσουν από την πηγή για να προσθέσουν λειτουργίες.
6. **Δυνατότητα Συντήρησης:** Η μακροπρόθεσμη συντήρηση του κώδικα λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάπτυξη. Για το σκοπό αυτό, ακολουθούνται αυστηρά πρότυπα δοκιμών, τεκμηρίωσης και στυλ.
7. **Φορητότητα:** Το Gazebo υποστηρίζεται από όλα τα κύρια λειτουργικά συστήματα: Linux, macOS και Windows. Αυτό επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο επιλέγονται οι εξαρτήσεις λογισμικού και εφαρμόζονται οι δυνατότητές του [25].

ROS Noetic Ninjemys

Το ROS Noetic Ninjemys είναι η δέκατη τρίτη έκδοση ROS. Κυκλοφόρησε στις 23 Μαΐου 2020. Σχεδιάστηκε κυρίως για την έκδοση Ubuntu 20.04 (Focal), παρόλο που και άλλες διανομές Linux υποστηρίζονται και στοχεύει αποκλειστικά στην Python 3 [26]. Ο λόγος ύπαρξης πολλών διανομών του ROS είναι για να μπορούν οι χρήστες του να εργάζονται σε μια σχετικά σταθερή βάση μέχρι να γίνει η αναβάθμιση στην επόμενη έκδοση καλύπτοντας το κενό με την προηγούμενη. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τις εκδόσεις του ROS διαχρονικά [27].

Distro	Release date	Poster	Tuturtle, turtle in tutorial	EOL date
ROS Noetic Ninjemys (Recommended)	May 23rd, 2020			May, 2025 (Focal EOL)
ROS Melodic Morenia	May 23rd, 2018			June 27, 2023 (Bionic EOL)
ROS Lunar Loggerhead	May 23rd, 2017			May, 2019
ROS Kinetic Kame	May 23rd, 2016			April, 2021 (Xenial EOL)
ROS Jade Turtle	May 23rd, 2015			May, 2017
ROS Indigo Igloo	July 22nd, 2014			April, 2019 (Trusty EOL)
ROS Hydro Medusa	September 4th, 2013			May, 2015
ROS Groovy Galapagos	December 31, 2012			July, 2014
ROS Fuerte Turtle	April 23, 2012			--
ROS Electric Emys	August 30, 2011			--
ROS Diamondback	March 2, 2011			--
ROS C Turtle	August 2, 2010			--
ROS Box Turtle	March 2, 2010			--

Εικόνα 20 Εκδόσεις ROS[27]

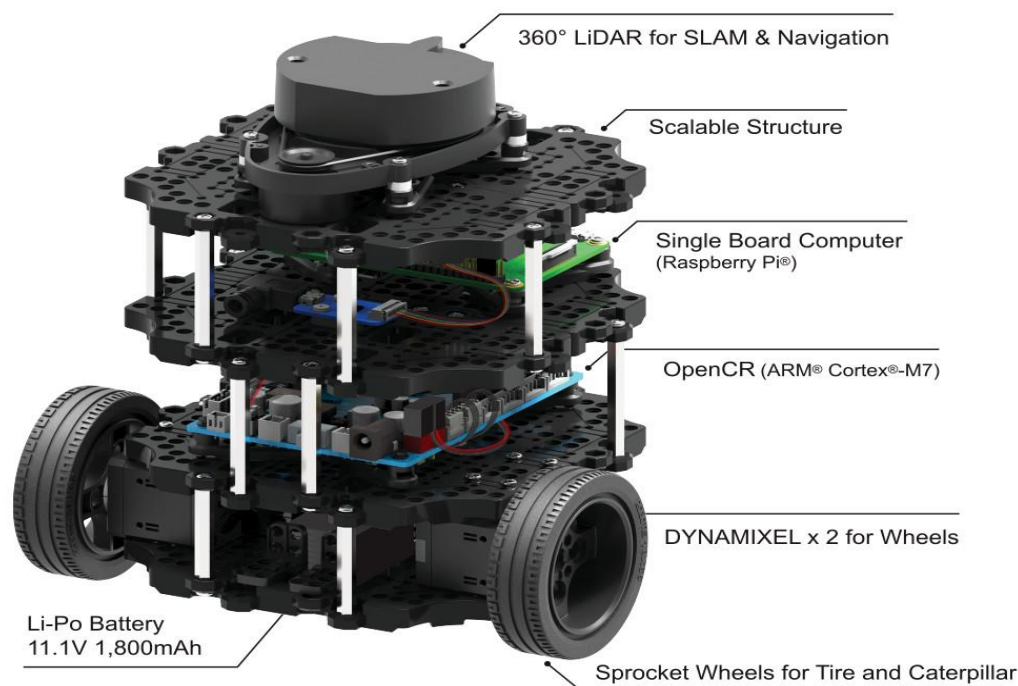
Το TurtleBot είναι το τυπικό ρομπότ που χρησιμοποιείται στην πλατφόρμα ROS. Το Turtle (χελώνα) προέρχεται από το ρομπότ Turtle, το οποίο οδηγούνταν από την εκπαιδευτική γλώσσα προγραμματισμού υπολογιστών Logo το 1967. Επιπλέον, ο κόμβος turtlesim, είναι ένα πρόγραμμα που μιμείται το σύστημα εντολών του προγράμματος Logo. Επίσης από εκεί προέρχεται και το εικονίδιο της χελώνας ως σύμβολο του ROS με τις εννέα κουκκίδες που χρησιμοποιούνται στο λογότυπο ROS, οι οποίες προέρχονται από το πίσω κέλυφος της χελώνας.

Υπάρχουν 3 εκδόσεις του μοντέλου TurtleBot. Το TurtleBot1 αναπτύχθηκε από τον Tully (Διαχειριστή πλατφόρμας στην Open Robotics) και τη Melonee (Διευθύνων Σύμβουλος της Fetch Robotics) από την Willow Garage πάνω από το ερευνητικό ρομπότ Create που βασίζεται στο Roomba του iRobot, για ανάπτυξη ROS. Αναπτύχθηκε το 2010 και πωλείται από το 2011. Το 2012, το TurtleBot2 αναπτύχθηκε από την Yujin Robot με βάση το ερευνητικό ρομπότ, iCleo Kobuki. Το 2017, το TurtleBot3 αναπτύχθηκε με χαρακτηριστικά που συμπληρώνουν τις λειτουργίες που λείπουν από τους προκατόχους του και τις απαιτήσεις των χρηστών. Το TurtleBot3 υιοθετεί τον έξυπνο ενεργοποιητή κίνησης ROBOTIS DYNAMIXEL για οδήγηση.

DYNAMIXEL MX-A series with an aluminum front case



Εικόνα 21 Ενεργοποιητής κίνησης ROBOTIS DYNAMIXEL [38]



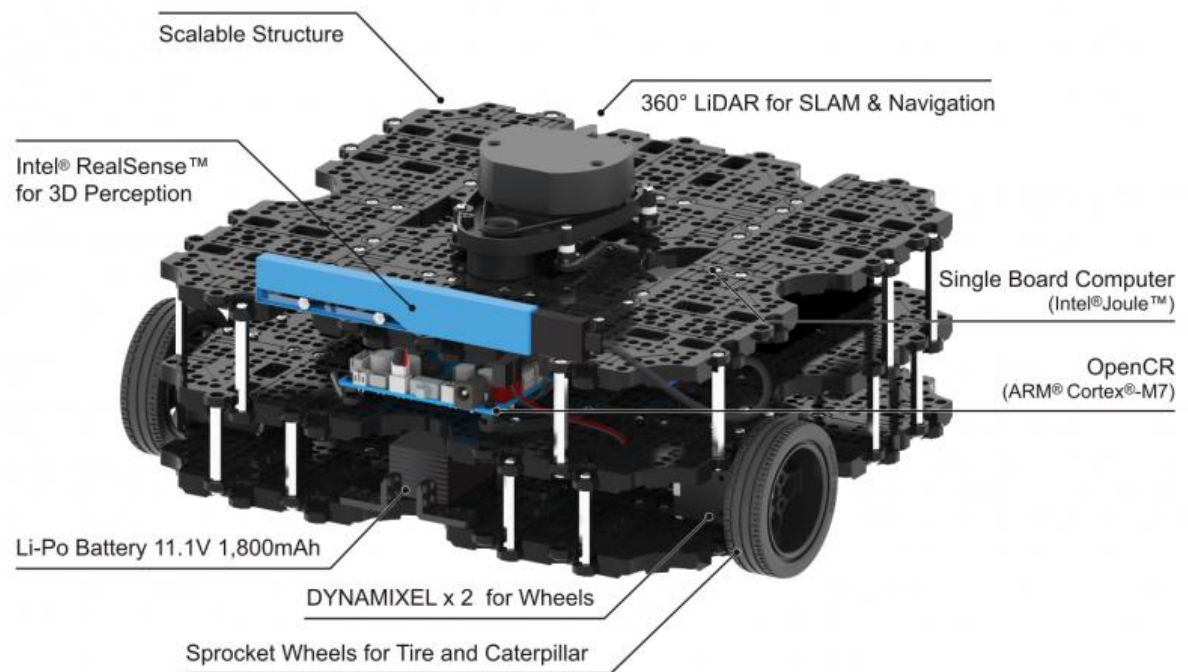
Εικόνα 22 Έκδοση Burger TurtleBot3[34]

Το TurtleBot3 είναι ένα μικρό, προσιτό, προγραμματιζόμενο τροχοφόρο ρομπότ βασισμένο στο ROS για χρήση στην εκπαίδευση, την έρευνα, το χόμπι και τη δημιουργία πρωτοτύπων προϊόντων. Στόχος του TurtleBot3 είναι να μειώσει δραματικά το μέγεθος της πλατφόρμας και να μειώσει την τιμή χωρίς να χρειάζεται να θυσιάσει τη λειτουργικότητα και την ποιότητά της, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει δυνατότητες επέκτασης. Το TurtleBot3 μπορεί να προσαρμοστεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο ανακατασκευάζονται τα μηχανικά μέρη και χρησιμοποιούνται τα προαιρετικά μέρη, όπως ο ενσωματωμένος υπολογιστής και ο αισθητήρας Laser. Το TurtleBot3 έχει εξελιχθεί διαθέτοντας έναν οικονομικό, αποδοτικό και μικρού μεγέθους SBC (Single Board Computer), καθώς και έναν αισθητήρα απόστασης εύρους γωνίας 360 μοιρών.

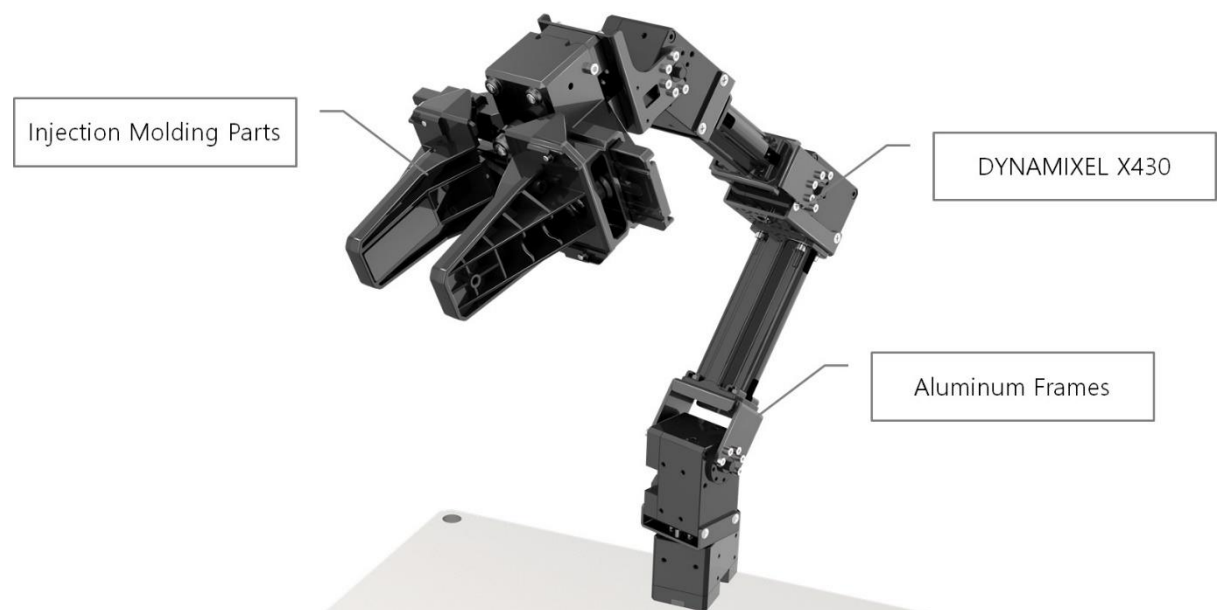


Εικόνα 23 Έκδοση Turtlebot 3 Waffle Pi [35]

Το TurtleBot3 μπορεί να εκτελέσει αλγόριθμους SLAM (ταυτόχρονη χωροθέτηση και χαρτογράφηση) για να δημιουργήσει έναν χάρτη. Επίσης, μπορεί να ελεγχθεί από απόσταση από φορητό υπολογιστή, joypad ή έξυπνο τηλέφωνο που βασίζεται σε Android. Το TurtleBot3 μπορεί επίσης να ακολουθεί τα πόδια ενός ατόμου καθώς περπατά σε ένα δωμάτιο. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορητός χειριστής ικανός να διαχειριστεί ένα αντικείμενο συνδέοντας έναν βραχίονα όπως το OpenMANIPULATOR. Το OpenMANIPULATOR έχει το πλεονέκτημα ότι είναι συμβατό με TurtleBot3 Waffle και Waffle Pi. Μέσω αυτής της συμβατότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ρομπότ εξυπηρέτησης με τις δυνατότητες SLAM και πλοήγησης που έχει το TurtleBot3 [36].



Εικόνα 24 Turtlebot 3 Waffle [35]



Εικόνα 25 OpenMANIPULATOR-X (RM-X52-TNM) [37]

Τεχνικές Προδιαγραφές Turtlerbot3

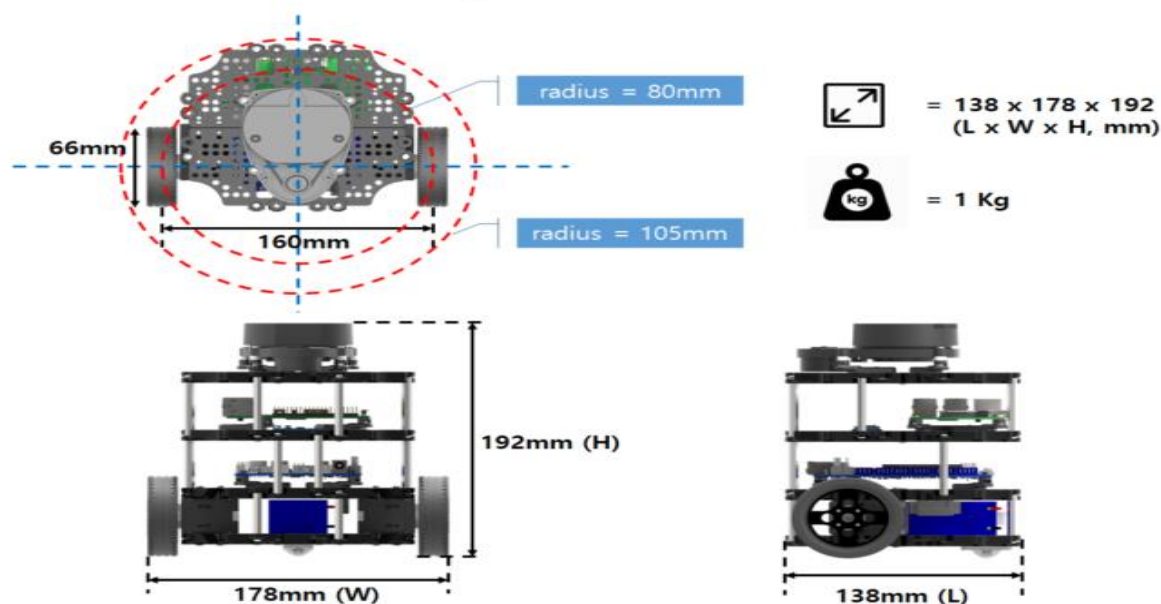
Μέρη	Burger	Waffle Pi
Μέγιστη μεταφορική ταχύτητα	0.22 m/s	0.26 m/s

Μέρη	Burger	Waffle Pi
Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής	2.84 rad/s (162.72 deg/s)	1.82 rad/s (104.27 deg/s)
Μέγιστο ωφέλιμο φορτίο	15kg	30kg
Μέγεθος (Μ x Π x Υ)	138mm x 178mm x 192mm	281mm x 306mm x 141mm
Βάρος (+ SBC + Μπαταρία + Αισθητήρες)	1kg	1.8kg
Κατώφλι αναρρίχησης	10 mm or lower	10 mm or lower
Αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας	2h 30m	2h
Αναμενόμενος χρόνος φόρτισης	2h 30m	2h 30m
SBC (Single Board Computers)	Raspberry Pi	Raspberry Pi
MCU	32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216 MHz, 462 DMIPS)	32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216 MHz, 462 DMIPS)
Τηλεχειριστήριο	-	RC-100B + BT-410 Set (Bluetooth 4, BLE)
Ενεργοποιητής	XL430-W250	XM430-W210
LDS (Αισθητήρας απόστασης λέιζερ)	360 Laser Distance Sensor LDS-01 or LDS-02	360 Laser Distance Sensor LDS-01 or LDS-02
Camera	-	Raspberry Pi Camera Module v2.1
IMU	Gyroscope 3 Axis Accelerometer 3 Axis	Gyroscope 3 Axis Accelerometer 3 Axis
Υποδοχές ρεύματος	3.3V / 800mA 5V / 4A 12V / 1A	3.3V / 800mA 5V / 4A 12V / 1A
Πείροι επέκτασης	GPIO 18 pins Arduino 32 pin	GPIO 18 pins Arduino 32 pin
Περιφερειακός	UART x3, CAN x1, SPI x1, I2C x1, ADC x5, 5pin OLLO x4	UART x3, CAN x1, SPI x1, I2C x1, ADC x5, 5pin OLLO x4
Θύρες DYNAMIXEL	RS485 x 3, TTL x 3	RS485 x 3, TTL x 3

Μέρη	Burger	Waffle Pi
Ήχος	Αρκετές προγραμματιζόμενες ακολουθίες ηχου	Αρκετές προγραμματιζόμενες ακολουθίες ηχου.
Προγραμματιζόμενα LED	User LED x 4	User LED x 4
LED κατάστασης	Board status LED x 1 Arduino LED x 1 Power LED x 1	Board status LED x 1 Arduino LED x 1 Power LED x 1
Κουμπιά και διακόπτες	Push buttons x 2, Reset button x 1, Dip switch x 2	Push buttons x 2, Reset button x 1, Dip switch x 2
Μπαταρία	Μπαταρία πολυμερούς λιθίου 11.1V 1800mAh / 19.98Wh 5C	Μπαταρία πολυμερούς λιθίου 11.1V 1800mAh / 19.98Wh 5C
Σύνδεση με υπολογιστή	USB	USB
Αναβάθμιση υλικού λογισμικού	via USB / via JTAG	via USB / via JTAG
Μετασχηματιστής ρεύματος (SMPS)	Input: 100-240V, AC 50/60Hz, 1.5A @max Output: 12V DC, 5A	Input: 100-240V, AC 50/60Hz, 1.5A @max Output: 12V DC, 5A

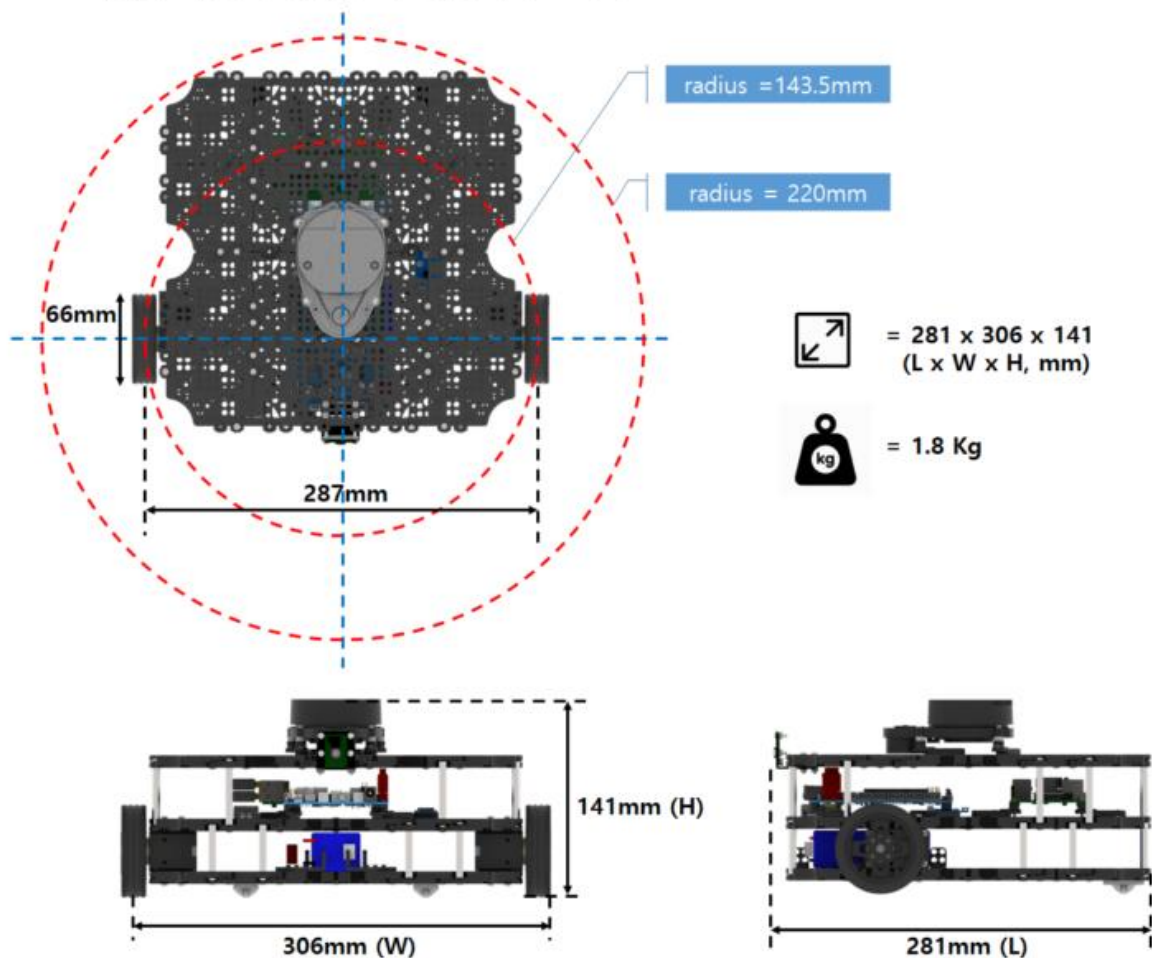
[36]

TurtleBot3 Burger



Εικόνα 26 Διαστάσεις Turtlebot3 Burger [36]

TurtleBot3 Waffle Pi



Εικόνα 27 Διαστάσεις Turtlebot3 Waffle Pi [36]

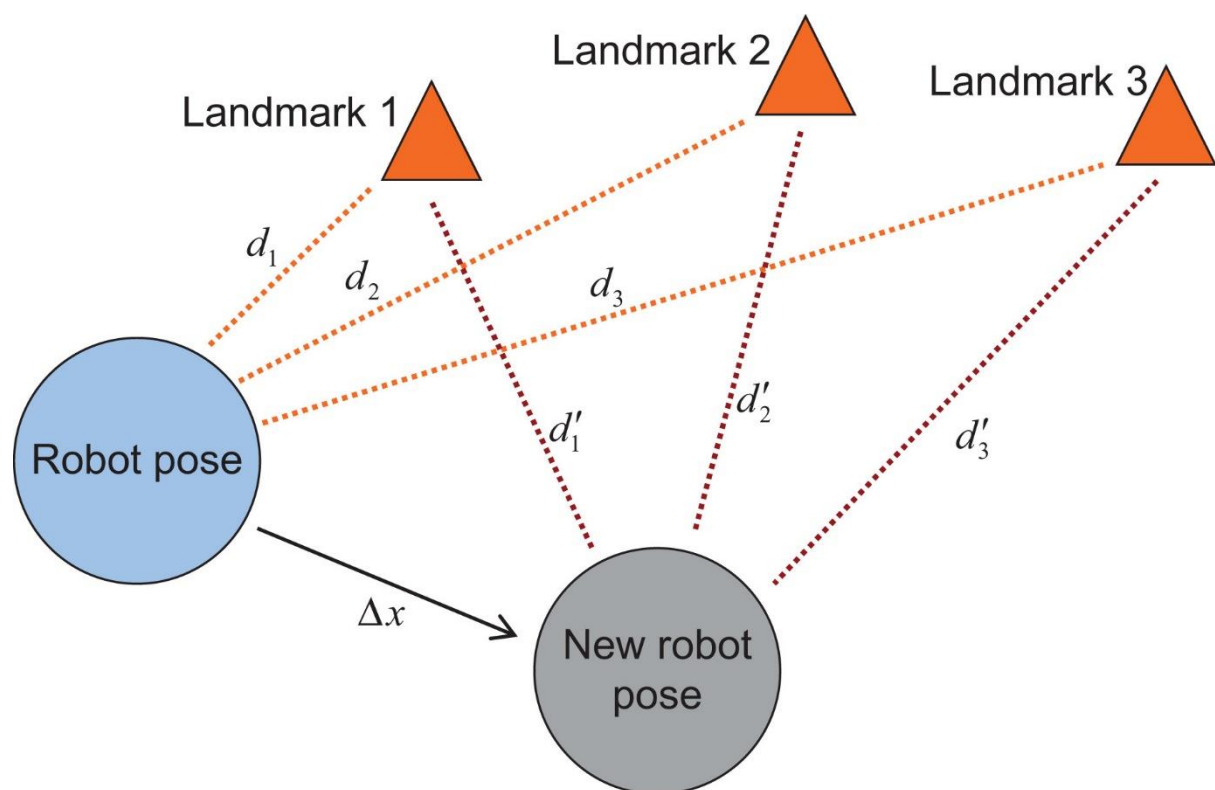
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗ ΧΩΡΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των πακέτων που εκτελέσθηκαν όπως το πακέτο `Explore_lite`, το οποίο όμως για να λειτουργήσει χρειάζεται το πακέτο `move_base`, το οποίο επίσης αναλύεται. Επίσης περιγράφεται το SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) και ο βασικός του αλγόριθμος (`gmapping`) που χρησιμοποιήθηκε.

SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)

Το SLAM αποτελεί ένα από τα πιο βασικά στοιχεία της αυτόνομης εξερεύνησης. Το πρόβλημα στο οποίο εστιάζει το SLAM είναι, δοθέντος των

πλησιέστερων χαρακτηριστικών που παρατηρήθηκαν από τους αισθητήρες του ρομπότ και των δυνατοτήτων κίνησης αυτού, να κατασκευαστεί ο χάρτης και ταυτόχρονα να υπολογίζεται η θέση και ο προσανατολισμός του ρομπότ μέσα σε αυτόν. Το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι αρκετά απαιτητικό γιατί ο συσχετισμός μεταξύ παρατηρήσεων και οροσήμων είναι αρχικά άγνωστος. Επίσης, η επιλογή λανθασμένων συσχετισμών δεδομένων επιφέρει ιδιαίτερα σοβαρές επιπτώσεις στην απόδοση και ακρίβεια του αλγορίθμου. Ο πιο συχνός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται για να λυθεί αυτό το πρόβλημα είναι ο *gmapping*. Ο συγκεκριμένος αλγόριθμος λαμβάνει ως δεδομένα τις παρατηρήσεις του οχήματος για τα αντικείμενα που το περιβάλλουν καθώς και τις μετρήσεις οδομετρίας και δομεί τον χάρτη του περιβάλλοντα χώρου [28].



Εικόνα 28 Αναπαράσταση διαγράμματος προβλήματος SLAM [29]

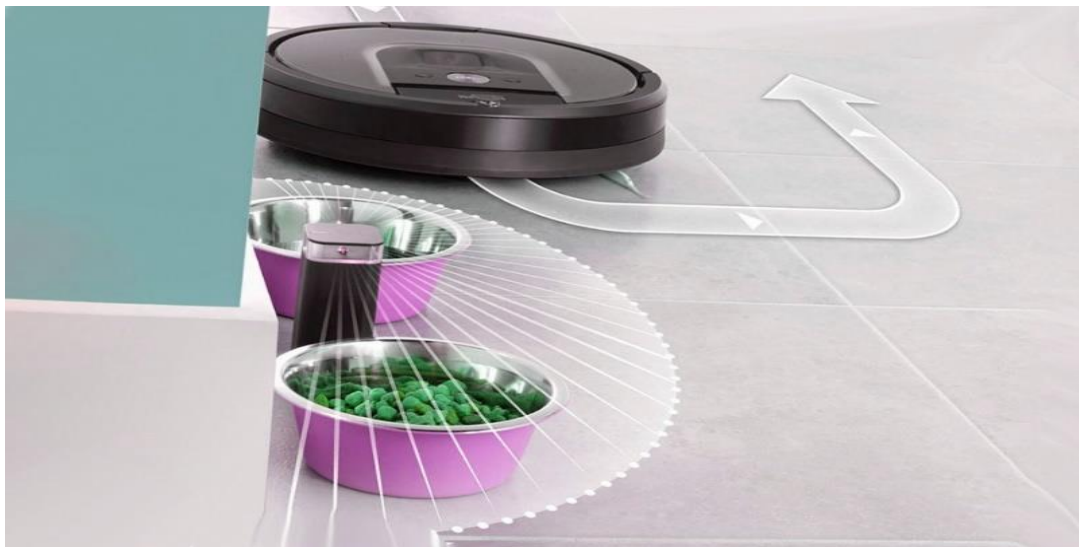
Εφαρμογές SLAM

Η ταυτόχρονη εντόπιση αντικειμένων και χαρτογράφηση χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς της κοινωνίας. Παρακάτω αναπτύσσονται οι κυριότεροι.

Ρομπότ καθαριότητας

Αποτελούν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα για το πως λειτουργεί η αυτόνομη κίνηση και η ταυτόχρονη χωροθέτηση και

χαρτογράφηση. Χωρίς το SLAM, ένα ρομπότ καθαρισμού θα μετακινούνταν χωρίς χάρτη, επίσης δεν θα μπορούσε να ανιχνεύσει εμπόδια, πράγμα που σημαίνει ότι θα χτυπούσε συνεχώς σε έπιπλα και οικιακές συσκευές. Δεν θα ήταν επίσης σε θέση να αποθηκεύσει στην μνήμη του τις περιοχές που είχε ήδη επισκεφτεί. Ωστόσο, με το SLAM, το ρομπότ μπορεί να αποφύγει τις περιοχές που έχει ήδη χαρτογραφήσει και μπορεί να αποφύγει τυχόν εμπόδια. Είναι επίσης σε θέση να κάνει και τα δύο πράγματα ταυτόχρονα, γεγονός που το καθιστά τέλειο παράδειγμα του πώς η τεχνολογία SLAM μπορεί και να λειτουργήσει στο οικιακό περιβάλλον [30].



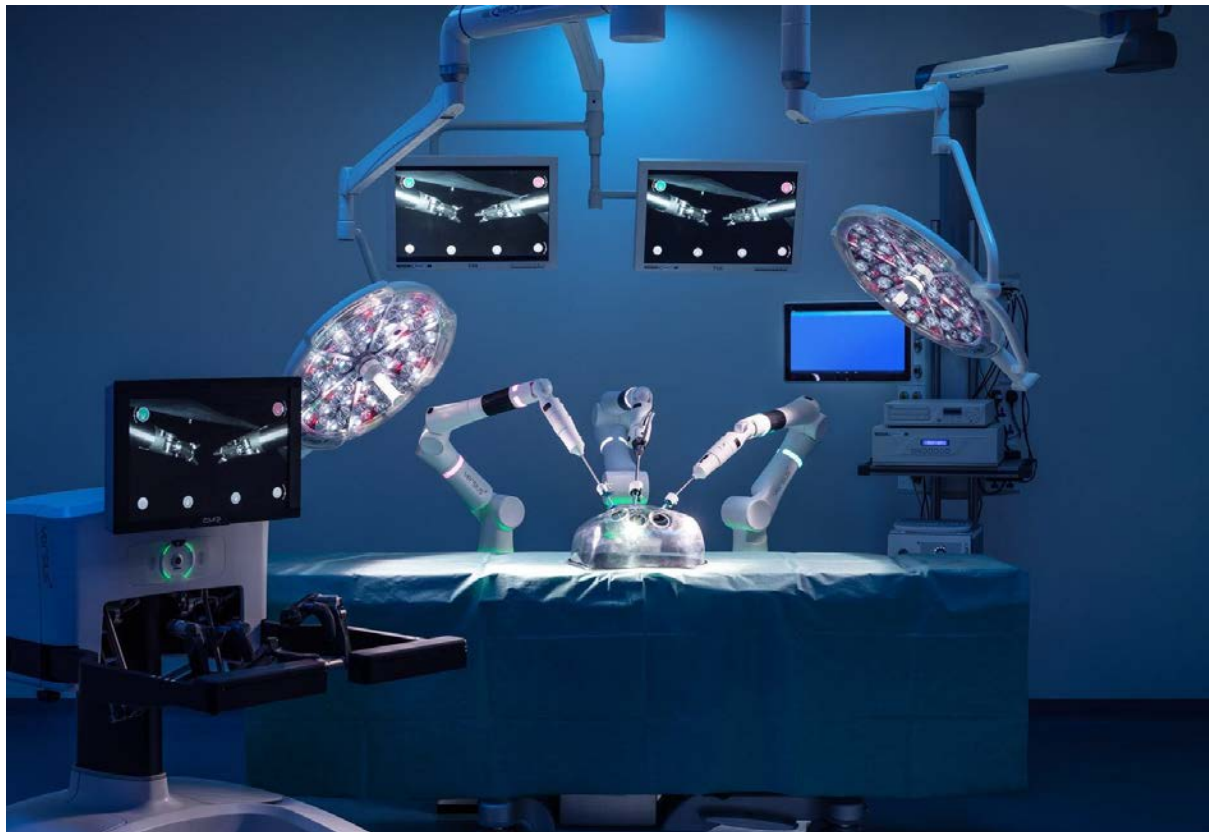
Εικόνα 29 Ρομποτική σκούπα [31]



Εικόνα 30 iRobot Roomba i7[32]

Ιατρικά Ρομπότ

Στον τομέα της ιατρικής το SLAM χρησιμοποιείται στα χειρουργεία προσφέροντας ευκολότερες επεμβάσεις. Χρησιμοποιώντας την τεχνολογία SLAM οι γιατροί είναι πλέον σε θέση να εντοπίζουν γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια προβλήματα και να εργάζονται για τις λύσεις τους. Το SLAM μπορεί να προσφέρει στους χειρουργούς μια εικόνα ενός αντικειμένου μέσα στο σώμα του ασθενούς χωρίς να χρειάζεται να γίνει βαθιά τομή, εμφανίζοντας γρήγορα και με ακρίβεια ένα τρισδιάστατο μοντέλο μέσα σε έναν ασθενή [33].



Εικόνα 31 Versius χειρουργικό ρομπότ [34]

Αυτοοδηγούμενα Αυτοκίνητα

Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί μια έκρηξη στον συγκεκριμένο τύπο αυτοκινήτων κυρίως χάρη στην τεχνολογία που έχει αναπτυχθεί τις προηγούμενες δεκαετίες και σε φιλόδοξες αυτοκινητοβιομηχανίες όπως η Tesla. Δεδομένου ότι η τεχνολογία SLAM είναι ειδικά φτιαγμένη στο να βοηθά ένα αυτόνομο όχημα να βρει το δρόμο του μέσα από μια άγνωστη τοποθεσία, θα ήταν λογικό το SLAM και τα αυτοκίνητα να συνδέονται στενά. Το SLAM είναι ο πρωταρχικός τρόπος με τον οποίο τα αυτόνομα αυτοκίνητα διασχίζουν τον κόσμο. Τα αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα μπορούν να χρησιμοποιήσουν

αλγορίθμους SLAM για να αναγνωρίσουν τα πάντα, από γραμμές λωρίδων κυκλοφορίας μέχρι σημάνσεις, φανάρια και άλλα οχήματα στο δρόμο. Καθώς δημιουργούνται όλο και πιο ακριβείς λύσεις SLAM τα επόμενα χρόνια, τα αυτοοδηγούμενα αυτοκίνητα θα είναι από τους πρώτους τομείς που θα τις εφαρμόσουν [35].



Εικόνα 32 Εσωτερικό αυτοοδηγούμενου αυτοκινήτου [33]

ΠΙΘΑΝΟΤΙΚΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

Η πιθανοτική ρομποτική είναι ένας τομέας που εστιάζει στην ενσωμάτωση της αβεβαιότητας σε ρομποτικά συστήματα για τη βελτίωση της προσαρμοστικότητας και της αξιοπιστίας τους στον πραγματικό κόσμο. Με τη χρήση αλγορίθμων και μοντέλων, τα ρομπότ μπορούν να χειριστούν καλύτερα τις αβεβαιότητες στα δεδομένα αισθητήρων και τη δυναμική του περιβάλλοντος.

Μία από τις κύριες προκλήσεις στην πιθανοτική ρομποτική είναι η ανάπτυξη αλγορίθμων που μπορούν να λειτουργήσουν σε δυναμικά περιβάλλοντα. Οι πρόσφατες έρευνες έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Για παράδειγμα, η Πιθανοτική Αποσύνθεση Κυττάρου (PCD) είναι μια μέθοδος σχεδιασμού διαδρομής που συνδυάζει την κατά προσέγγιση αποσύνθεση κυττάρων με πιθανολογική δειγματοληψία, με αποτέλεσμα μια προσέγγιση σχεδιασμού διαδρομής υψηλής απόδοσης. Μια άλλη αξιοσημείωτη εξέλιξη είναι η χρήση της πιθανοτικής ανίχνευσης σύγκρουσης για ρομπότ υψηλών DOF (Degrees of Freedom) σε δυναμικά

περιβάλλοντα, η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό υπολογισμό των ακριβών πιθανοτήτων σύγκρουσης μεταξύ του ρομπότ και των εμποδίων.

Πρόσφατες εργασίες archin (Ηλεκτρονικό αποθετήριο μελετών) έχουν παρουσιάσει διάφορες εξελίξεις στην πιθανοτική ρομποτική. Αυτές περιλαμβάνουν αποκεντρωμένη πιθανοτική αποφυγή σύγκρουσης πολλών ρομπότ, σχεδιασμό κίνησης για εργασίες όπως η συλλογή καλλιεργειών και η πλοήγηση βάσει χωρικών εννοιών χρησιμοποιώντας οδηγίες ανθρώπινης ομιλίας. Αυτές οι μελέτες καταδεικνύουν τις δυνατότητες της πιθανοτικής ρομποτικής στην αντιμετώπιση πολύπλοκων προκλήσεων του πραγματικού κόσμου.

Πρακτικές εφαρμογές της πιθανοτικής ρομποτικής μπορούν να βρεθούν σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, στην αυτόνομη πλοήγηση, τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιήσουν πιθανοτικούς αλγόριθμους για να σχεδιάσουν διαδρομές παρά τις αβεβαιότητες στα δεδομένα των αισθητήρων και στη δυναμική του περιβάλλοντος. Στον ρομποτικό χειρισμό, ο σχεδιασμός κίνησης μπορεί να βοηθήσει τα ρομπότ να αποφύγουν συγκρούσεις ενώ εκτελούν εργασίες σε ακατάστατα περιβάλλοντα. Επιπλέον, στην αλληλεπίδραση ανθρώπου-ρομπότ, τα πιθανοτικά μοντέλα μπορούν να επιτρέψουν στα ρομπότ να κατανοούν και να ανταποκρίνονται στις οδηγίες ανθρώπινης ομιλίας πιο αποτελεσματικά.

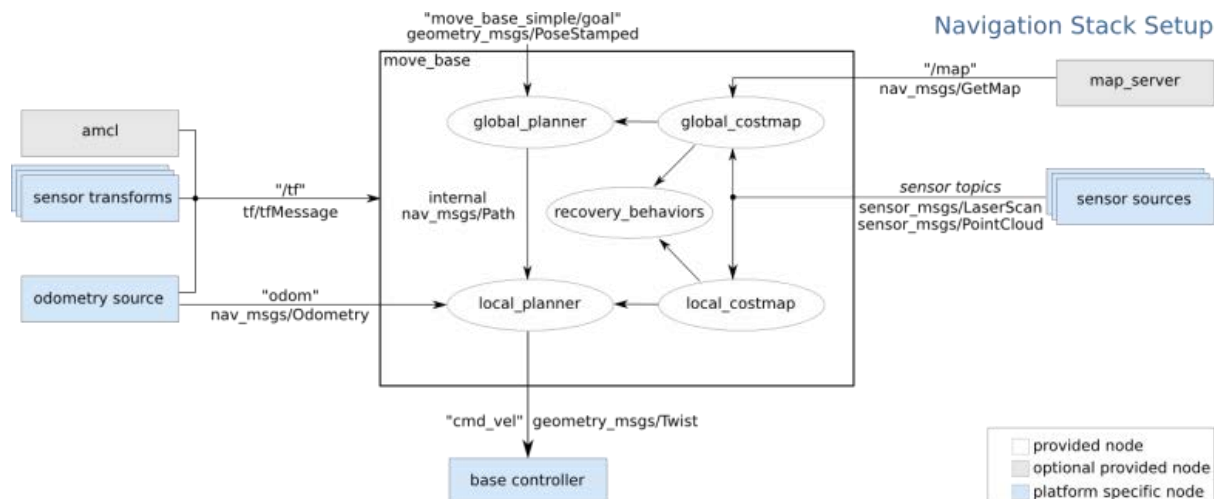
Μια περίπτωση που υπογραμμίζει τη χρήση της πιθανοτικής ρομποτικής είναι η ανάπτυξη αυτόνομων οχημάτων. Εταιρείες όπως η Waymo και η Tesla χρησιμοποιούν πιθανοτικούς αλγόριθμους για την επεξεργασία δεδομένων αισθητήρων, την πρόβλεψη της συμπεριφοράς άλλων χρηστών του δρόμου και τον σχεδιασμό ασφαλών και αποτελεσματικών τροχιών οδήγησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι συμβάλλουν στη διασφάλιση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των αυτόνομων οχημάτων σε πολύπλοκα και δυναμικά κυκλοφοριακά περιβάλλοντα.

Συμπερασματικά, η πιθανοτική ρομποτική είναι μια πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την ενίσχυση της προσαρμοστικότητας και της αξιοπιστίας των ρομποτικών συστημάτων σε σενάρια πραγματικού κόσμου. Με την ενσωμάτωση της αβεβαιότητας σε ρομποτικούς αλγόριθμους και μοντέλα, τα ρομπότ μπορούν να χειριστούν καλύτερα τις εγγενείς πολυπλοκότητες και αβεβαιότητες του περιβάλλοντός τους. Καθώς η έρευνα σε αυτόν τον τομέα συνεχίζει να προοδεύει, μπορούμε να περιμένουμε να δούμε ακόμη πιο εξελιγμένα και ικανά ρομποτικά συστήματα που μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα στην καθημερινή μας ζωή [30].

MOVE_BASE

Το πακέτο `move_base` του ROS, προσδίδει δυνατότητες ασφαλούς αυτόνομης πλοήγησης σε ρομπότ κινούμενης βάσης. Ο κόμβος `move_base` συνδέει έναν καθολικό και έναν τοπικό planner για να ολοκληρώσει την αποστολή πλοήγησης. Υποστηρίζει οποιονδήποτε καθολικό planner που συνδέεται με τη διεπαφή `nav_core::BaseGlobalPlanner` που καθορίζεται στο πακέτο `nav_core` και οποιοδήποτε τοπικό planner που ακολουθεί τη διεπαφή `nav_core::BaseLocalPlanner` που καθορίζεται στο πακέτο `nav_core`. Ο κόμβος `move_base` διατηρεί επίσης δύο χάρτες, έναν για τον καθολικό planner και έναν για έναν τοπικό planner μέσω του πακέτου `costmap_2d` που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση διάφορων στόχων πλοήγησης.

Ο κόμβος `move_base` παρέχει μια διεπαφή ROS για διαμόρφωση, εκτέλεση και αλληλεπίδραση με τη στοίβα πλοήγησης σε ένα ρομπότ. Ένα σχήμα του κόμβου `move_base` και της αλληλεπίδρασής του με άλλα στοιχεία φαίνεται παρακάτω. Το μπλε ποικίλλει ανάλογα με την πλατφόρμα του ρομπότ, το γκρι είναι προαιρετικό αλλά παρέχεται για όλα τα συστήματα και οι λευκοί κόμβοι είναι απαραίτητοι, όμως παρέχονται για όλα τα συστήματα [39].

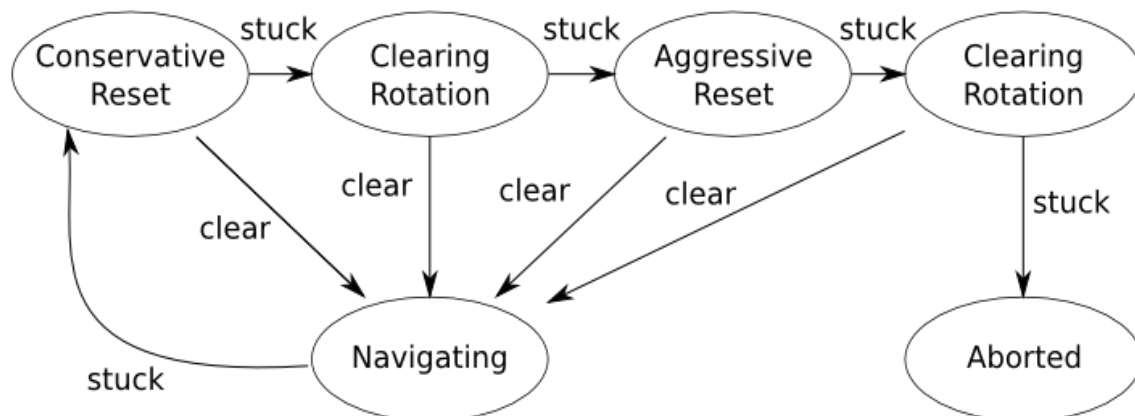


Εικόνα 33 Ο κόμβος `move_base`[39]

Ένα φαινόμενο που παρατηρείται όταν ένα αυτόνομο όχημα κάνει εξερεύνηση είναι ότι υπάρχει η πιθανότητα να εγκλωβιστεί σε ένα μέρος του χάρτη όταν τα εμπόδια είναι κοντά μεταξύ τους και δεν του επιτρέπουν να κινηθεί ανάμεσά τους. Η σειρά με την οποία ο κόμβος `move_base` λειτουργεί όταν συναντά τέτοια εμπόδια με το ρομπότ να δυσκολεύεται να κινηθεί ανάμεσα τους είναι, πρώτον οποιαδήποτε εμπόδια υπάρχουν εκτός της περιοχής που ορίζει ο

χρήστης θα απαλειφθούν. Δεύτερον, εάν μπορεί το ρομπότ θα πραγματοποιήσει μια περιστροφή γύρω από τον άξονα του για να κάνει χώρο. Εάν αποτύχει αυτό τότε το ρομπότ θα κάνει μια προσπάθεια να καθαρίσει τον χώρο γύρω από την απαιτούμενη περιοχή που χρειάζεται με μεγαλύτερη δύναμη, κατόπιν θα επαναλάβει την περιστροφή επί τόπου. Σε περίπτωση που όλα τα παραπάνω αποτύχουν, τότε το ρομπότ θα ειδοποιήσει τον χρήστη ότι έχει εγκλωβιστεί και έχει σταματήσει την πλοήγηση του. Αυτά τα μετρά για την απελευθέρωση του ρομπότ ελέγχονται από την παράμετρο `recovery_behaviors` και μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν μέσω της παραμέτρου `recovery_behaviors_enabled`. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα διαχείρισης ανάκτησης που χρησιμοποιεί η `move_base` [39].

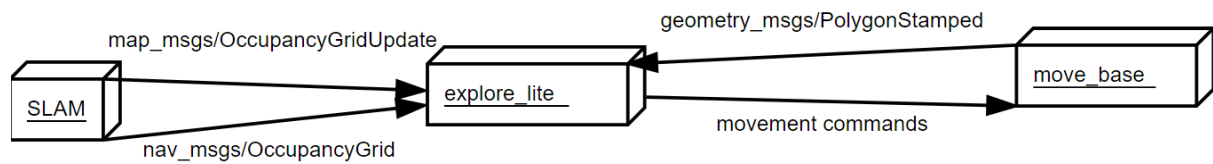
move_base Default Recovery Behaviors



Εικόνα 34 `move_base` ανάκτηση ρομπότ [39]

EXPLORE_LITE

Το πακέτο `explore_lite` [40] αποτελεί τον πυρήνα αυτής της πτυχιακής εργασίας καθώς είναι το κύριο λογισμικό που χρησιμοποιείται για έρθει σε πέρας ο στόχος που δεν είναι άλλος από την αυτόνομη εξερεύνηση χώρου με χρήση τροχοφόρου ρομπότ. Το συγκεκριμένο πακέτο μετατρέπει το αυτόνομο όχημα σε μια μηχανή χαρτογράφησης καθώς αυτό κινείται μέσα από τα φυσικά αντικείμενα του χάρτη ενώ ταυτόχρονα αποφασίζει ποια κατεύθυνση θα ακολουθήσει βάσει των μετρήσεων που του στέλνουν οι αισθητήρες πλοήγησης που διαθέτει. Το συγκεκριμένο πακέτο είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με την `move_base` η οποία είναι υπεύθυνη για τις εντολές πλοήγησης του ρομπότ. Επίσης η μέθοδος για την δημιουργία του δισδιάστατου χάρτη μέσα στο οποίο κινείται το όχημα δεν είναι άλλη από την SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) και του αλγορίθμου `gmapping` μέσω του ομώνυμου πακέτου για το ROS Noetic. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η σχέση μεταξύ του πακέτου `explore_lite`, του κόμβου της `move_base` και του αλγορίθμου SLAM.



Εικόνα 35 Αρχιτεκτονική explore_lite [40]

Το πακέτο `explore_lite` για να λειτουργήσει χρειάζεται ορισμένες παραμέτρους οι οποίες αναλύονται παρακάτω και πιο συγκεκριμένα αναφέρονται οι τύποι μεταβλητών και οι αρχικές τους τιμές.

1. `robot_base_frame`

(συμβολοσειρά, προεπιλογή: `base_link`)

Το όνομα του πλαισίου βάσης του ρομπότ. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θέσης του ρομπότ στον χάρτη.

2. `costmap_topic`

(συμβολοσειρά, προεπιλογή: χάρτης)

Καθορίζει την τιμή της πηγής `nav_msgs/OccupancyGrid`, η οποία αναπαριστά έναν δισδιάστατο χάρτη διαιρεμένο σε πλέγμα με κάθε τμήμα του πλέγματος να δείχνει την πιθανότητα ύπαρξης αντικειμένου.

3. `costmap_updates_topic`

(συμβολοσειρά, προεπιλογή: `costmap_updates`)

Καθορίζει το θέμα της πηγής `map_msgs/OccupancyGridUpdate` η οποία περιέχει μεταβλητές όπως θέση του αντικειμένου στον άξονα(x,y) ύψος και πλάτος. Δεν είναι απαραίτητο εάν η πηγή του χάρτη δημοσιεύει πάντα πλήρεις ενημερώσεις, δηλαδή δεν παρέχει αυτό το θέμα.

4. `visualize`

(boolean, προεπιλογή: `false`)

Καθορίζει εάν δημοσιεύονται ή όχι οπτικοποιημένα σύνορα.

5. `planner_frequency`

(double, προεπιλογή: 1.0)

Ρυθμός σε Hz στον οποίο θα υπολογιστούν τα νέα σύνορα και θα επανεξεταστεί ο στόχος.

6. `progress_timeout` (double, προεπιλογή: 30.0)

Χρόνος σε δευτερόλεπτα. Όταν το ρομπότ δεν κάνει καμία πρόοδο για το `progress_timeout`, ο τρέχων στόχος θα εγκαταλειφθεί.

7. `potential_scale` (double, προεπιλογή: 1e-3)

Χρησιμοποιείται για τη στάθμιση των συνόρων. Αυτή η πολλαπλασιαστική παράμετρος επηρεάζει τη συνιστώσα του συνοριακού δυναμικού του συνοριακού βάρους (απόσταση προς σύνορα).

8. `orientation_scale` (double, προεπιλογή: 0)

Χρησιμοποιείται για τη στάθμιση των συνόρων. Αυτή η πολλαπλασιαστική παράμετρος επηρεάζει τη συνιστώσα προσανατολισμού συνόρων του συνοριακού βάρους. Αυτή η παράμετρος δεν κάνει τίποτα προς το παρόν και παρέχεται αποκλειστικά για συμβατότητα προς τα εμπρός.

9. `gain_scale` (double, προεπιλογή: 1.0)

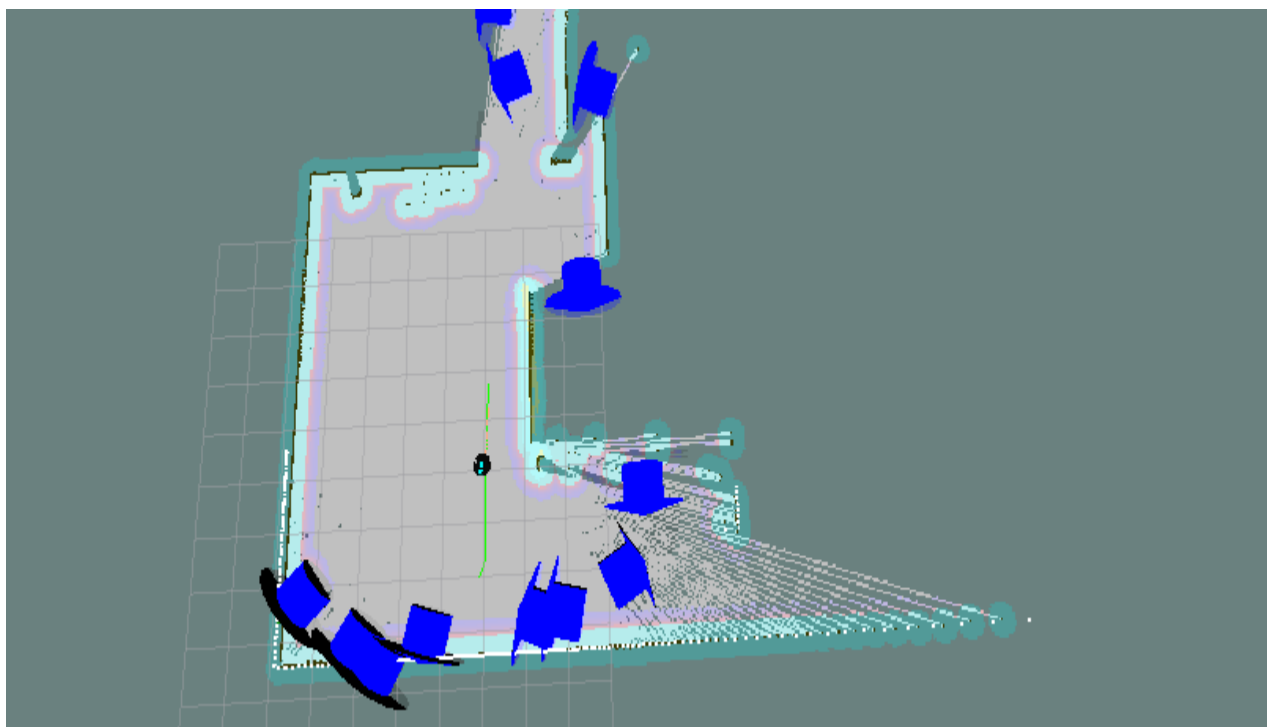
Χρησιμοποιείται για τη στάθμιση των συνόρων. Αυτή η πολλαπλασιαστική παράμετρος επηρεάζει τη συνιστώσα του συνοριακού κέρδους του συνοριακού βάρους (μέγεθος συνόρων).

10. `transform_tolerance` (double, προεπιλογή: 0,3)

Παρέχει ένα «παράθυρο» για τον συγχρονισμό μεταξύ της ταχύτητας του ρομπότ και των μετρήσεων του αισθητήρα του ρομπότ για την αποφυγή λαθών στο σχεδιασμό του μονοπατιού που θα ακολουθήσει το ρομπότ.

11. `min_frontier_size` (double, προεπιλογή: 0,5)

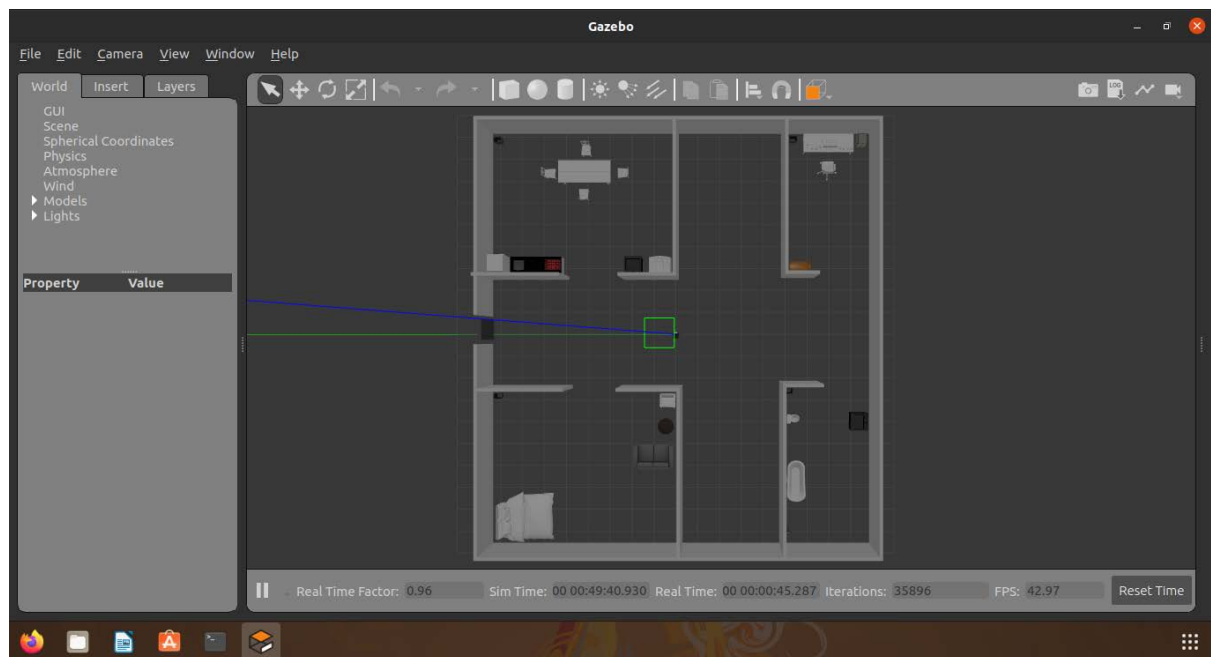
Ελάχιστο μέγεθος συνόρων για να θεωρηθεί το σύνορο ως στόχος εξερεύνησης (σε μέτρα).



Εικόνα 36 Παράδειγμα ρομπότ ενώ κάνει αυτόνομη εξερεύνηση [40]

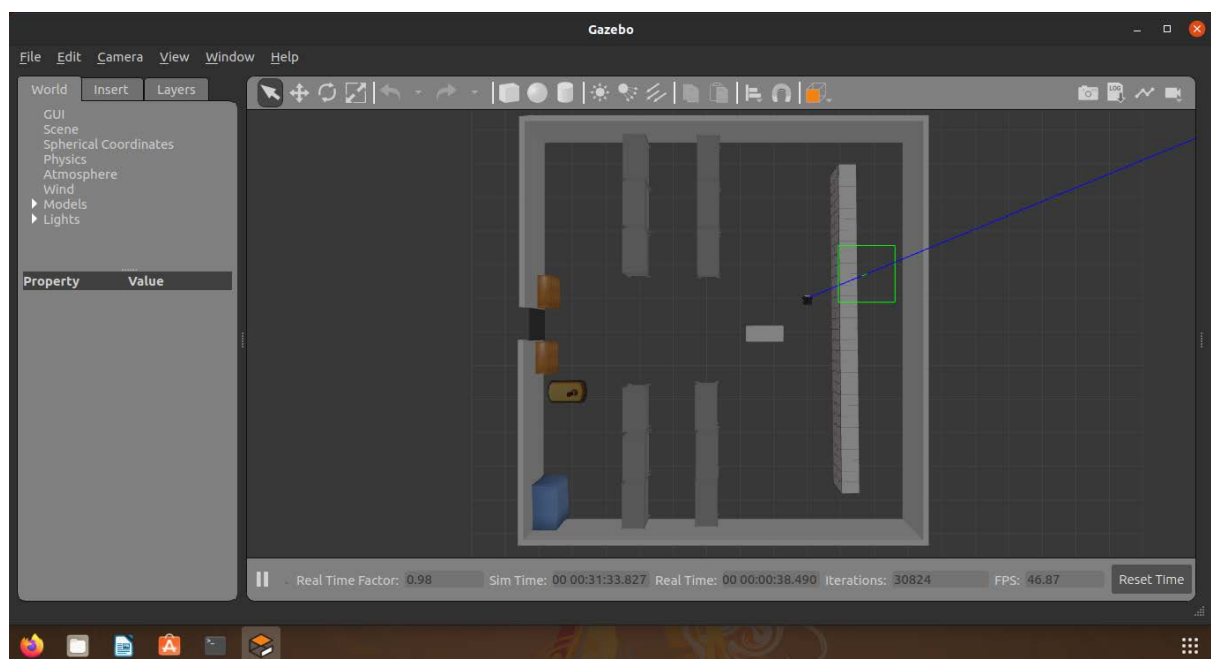
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΩΝ

Στα πλαίσια αυτής της πτυχιακής εργασίας αναπτυχθήκαν 2 χάρτες εσωτερικού χώρου μέσα στους οποίους έγινε χρήση του πακέτου `explore_lite`. Ο πρώτος χάρτης είναι ένα επιπλωμένο διαμέρισμα το οποίο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα και μέσα στο οποίο το ρομπότ πλοηγείται και παράλληλα χαρτογραφεί. Ο σκοπός που θα μπορούσε να εξυπηρετήσει ένα ρομπότ σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι η π.χ. η καθαριότητα.



Εικόνα 37 Πλήρως επιπλωμένο διαμέρισμα

Ο δεύτερος χάρτης αποτελεί μια αποθήκη αποτελούμενη από ντουλάπες και ράφια. Η εξερεύνηση ενός τέτοιου χώρου θα μπορούσε να εξυπηρετήσει δυο κυρίους σκοπούς. Πρώτον η καταγραφή ότι όλα τα προϊόντα είναι στην θέση τους και δεύτερον η αυτοματοποιημένη απογραφή των αποθεμάτων των εμπορευμάτων, δυο εργασίες που παραδοσιακά γίνονται από το προσωπικό. Αυτές οι δυο εργασίες μπορούν να δώσουν σε οποιαδήποτε επιχείρηση κέρδος σε χρόνο ο οποίος είναι πολύτιμος.



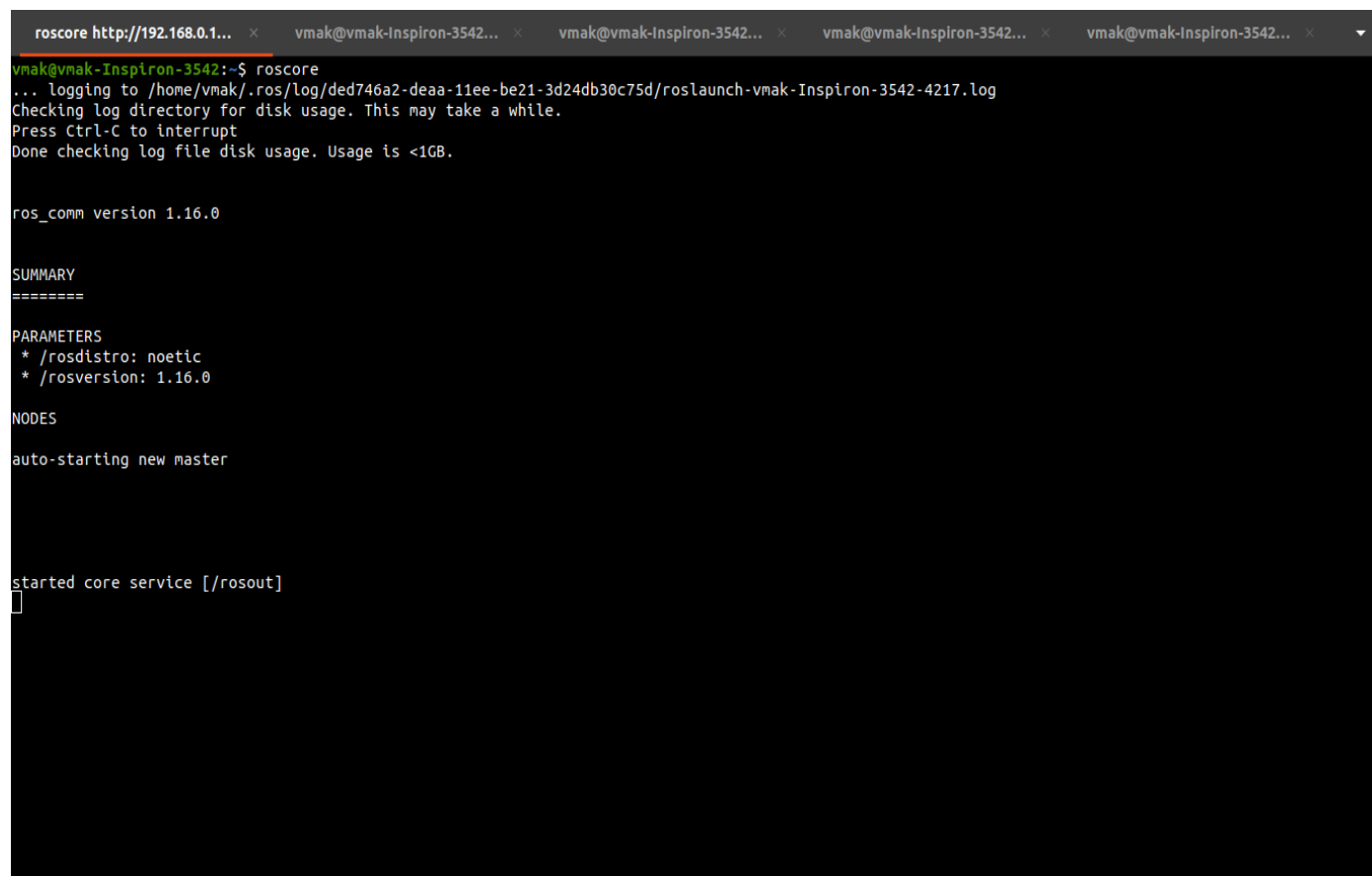
Εικόνα 38 Αποθήκη Εμπορευμάτων

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ

Για ξεκινήσει η αυτόνομη περιήγηση του ρομπότ και να εκτελεσθεί το πακέτο `explore_lite`, θα πρέπει πρώτα να γίνει η εκκίνηση των απαραίτητων εξαρτωμένων πακέτων και κόμβων. Παρακάτω παραθέτονται οι εντολές που πρέπει να εκτελεσθούν με την σειρά που αυτές εμφανίζονται και σε ξεχωριστό τερματικό η καθεμιά.

- **roscore**

Πρώτα πρέπει να γίνει εκκίνηση του ROS μέσω της εντολής `roscore` η οποία θα ενεργοποιήσει μια συλλογή από κόμβους οι οποίοι είναι απαραίτητοι για την συνέχεια. Ποιο συγκεκριμένα η εντολή αυτή θα ξεκινήσει τον ROS Master για να παρέχει υπηρεσίες ονοματολογίας και καταχώρησης για τους υπολοίπους κόμβους, αποτελώντας έτσι ένα εργαλείο για να επικοινωνούν οι κόμβοι μεταξύ τους. Επίσης η εντολή `roscore` θα ξεκινήσει έναν διακομιστή (server) για να λειτουργήσει ως χώρος αποθήκευσης και ανάκτησης των παραμέτρων των κόμβων ενώ αυτοί τρέχουν. Τέλος θα γίνει εκκίνηση ενός αρχείου καταγραφής μέσα στο οποίο υπάρχουν τα μηνύματα μεταξύ των κόμβων.



```
roscore http://192.168.0.1... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ roscore
... logging to /home/vmak/.ros/log/ded746a2-deaa-11ee-be21-3d24db30c75d/roslaunch-vmak-Inspiron-3542-4217.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

ros_comm version 1.16.0

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /rostdistro: noetic
* /rosversion: 1.16.0

NODES

auto-starting new master

started core service [/rosout]
█
```

Εικόνα 39 Εκκίνηση `roscore`

- **roslaunch turtlebot3_gazebo My_Map1.launch**

Το επόμενο βήμα είναι το άνοιγμα του χάρτη στο περιβάλλον Gazebo όπως φαίνεται στην εικόνα 36 & 37. Η εντολή που χρησιμοποιείται για αυτό είναι η `roslaunch`.

- **export TURTLEBOT3_MODEL = waffle**

Για να ανοίξει ο χάρτης όμως με τον στόχο της αυτόνομης εξερεύνησης πρέπει να τοποθετηθεί και το ρομπότ μέσα στον χάρτη. Η εντολή `export` μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε το μοντέλο του ρομπότ που θα εμφανιστεί μέσα στον χάρτη μετά την εκτέλεση της `roslaunch`. Σε αυτήν την πτυχιακή εργασία έγινε χρήση του μοντέλου `waffle`. Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι εντολές `export` και `roslaunch`.

```

roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ roslaunch turtlebot3_gazebo My_Map1.launch
... logging to /home/vmak/.ros/log/ded746a2-deaa-11ee-be21-3d24db30c75d/roslaunch-vmak-Inspiron-3542-4289.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

xacro: in-order processing became default in ROS Melodic. You can drop the option.

SUMMARY
=====
PARAMETERS
* /gazebo/enable_ros_network: True
* /robot_description: <?xml version="1....
* /rostdistro: noetic
* /rosversion: 1.16.0
* /use_sim_time: True

NODES
/
  gazebo (gazebo_ros/gzserver)
  gazebo_gui (gazebo_ros/gzclient)
  spawn_urdf (gazebo_ros/spawn_model)

[ INFO] [1710053669.547267715]: Finished loading Gazebo ROS API Plugin.
[ INFO] [1710053669.566670441]: waitForService: Service [/gazebo/set_physics_properties] has not been advertised, waiting...
[ INFO] [1710053669.738317001]: Finished loading Gazebo ROS API Plugin.
[ INFO] [1710053669.739782204]: waitForService: Service [/gazebo_gui/set_physics_properties] has not been advertised, waiting...
[ INFO] [1710053670.995551282]: waitForService: Service [/gazebo/set_physics_properties] is now available.
[ INFO] [1710053671.042183466]: Physics dynamic reconfigure ready.

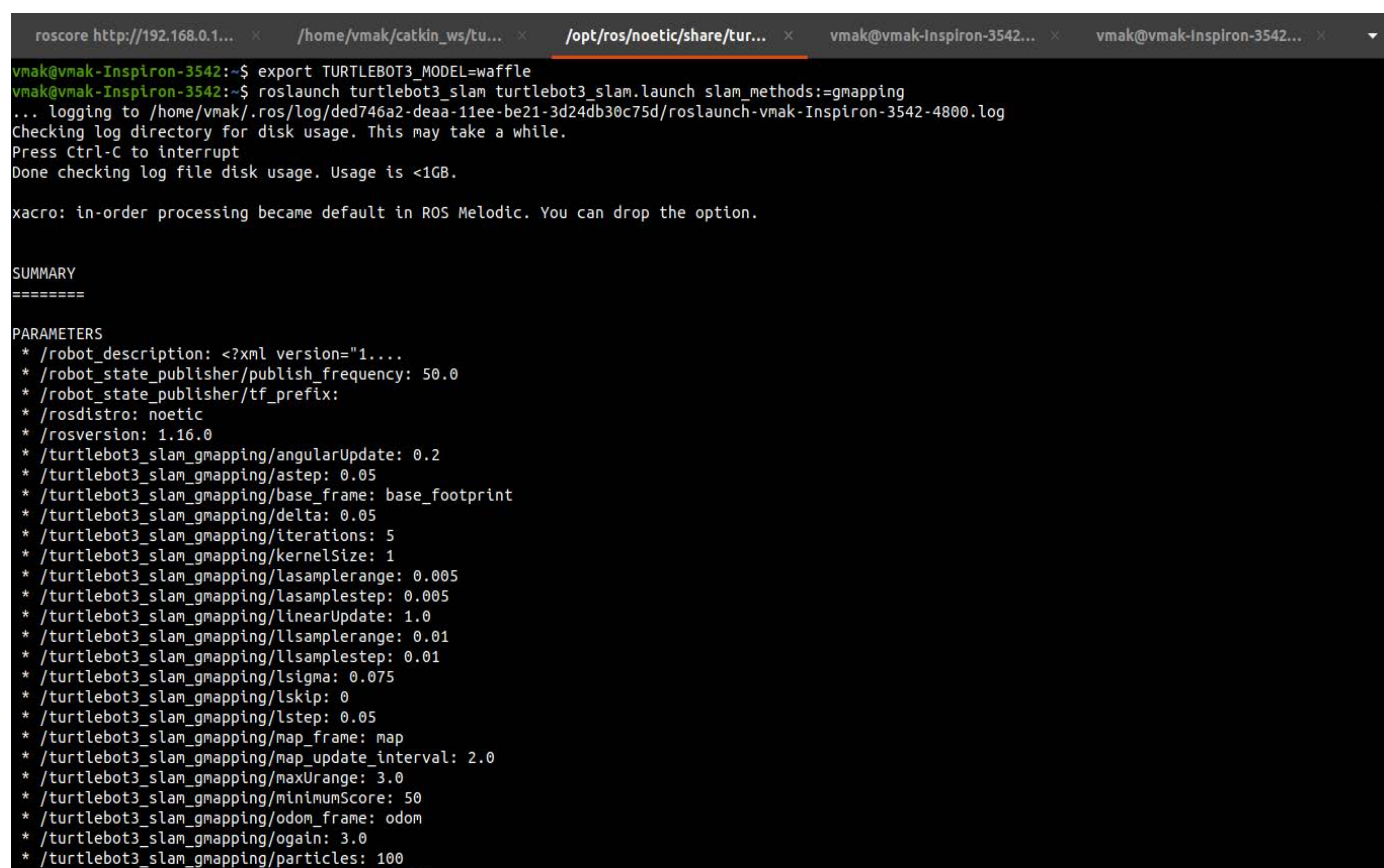
```

Εικόνα 40 Άνοιγμα Πρώτου Χάρτη στο Gazebo

Εφόσον έχουν εκκινήσει το ROS και το Gazebo σειρά έχει η επιλογή του αλγορίθμου με τον οποίο θα γίνει η ταυτόχρονη χωροθέτηση και χαρτογράφηση (SLAM) με χρήση της roslaunch.

- **roslaunch turtlebot3_slam turtlebot3_slam.launch
slam_methods:=gmapping**

Στις προσομοιώσεις που έγιναν στα πλαίσια αυτής της εργασίας επιλέχθηκε ο αλγόριθμος gmapping, ο οποίος βασίζεται σε μετρήσεις λείζερ των αισθητήρων του ρομπότ για την κατασκευή ενός δισδιάστατου χάρτη. Ο αλγόριθμος gmapping λειτουργεί καλύτερα σε περιβάλλον με όσο το δυνατόν περισσότερα φυσικά εμπόδια και είναι ιδανικός για χαρτογράφηση σε πραγματικό χρόνο ενώ το όχημα πλοηγείται μέσα στον χάρτη.



```
roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ roslaunch turtlebot3_slam turtlebot3_slam.launch slam_methods:=gmapping
... logging to /home/vmak/.ros/log/ded746a2-deaa-11ee-be21-3d24db30c75d/roslaunch-vmak-Inspiron-3542-4800.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

xacro: in-order processing became default in ROS Melodic. You can drop the option.

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /robot_description: <?xml version="1...
* /robot_state_publisher/publish_frequency: 50.0
* /robot_state_publisher/tf_prefix:
* /roscpp: noetic
* /rosversion: 1.16.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/angularUpdate: 0.2
* /turtlebot3_slam_gmapping/astep: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/base_frame: base_footprint
* /turtlebot3_slam_gmapping/delta: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/iterations: 5
* /turtlebot3_slam_gmapping/kernelSize: 1
* /turtlebot3_slam_gmapping/lasamplerange: 0.005
* /turtlebot3_slam_gmapping/lasamplestep: 0.005
* /turtlebot3_slam_gmapping/linearUpdate: 1.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/lssamplerange: 0.01
* /turtlebot3_slam_gmapping/lssamplestep: 0.01
* /turtlebot3_slam_gmapping/lsigma: 0.075
* /turtlebot3_slam_gmapping/lskip: 0
* /turtlebot3_slam_gmapping/lstep: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/map_frame: map
* /turtlebot3_slam_gmapping/map_update_interval: 2.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/maxUrange: 3.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/minimumScore: 50
* /turtlebot3_slam_gmapping/odom_frame: odom
* /turtlebot3_slam_gmapping/ogain: 3.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/particles: 100
```

Εικόνα 41 Εκκίνηση πακέτου SLAM με gmapping

```

roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
SUMMARY
=====
PARAMETERS
* /robot_description: <?xml version="1...
* /robot_state_publisher/publish_frequency: 50.0
* /robot_state_publisher/tf_prefix:
* /roscdistro: noetic
* /rosversion: 1.16.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/angularUpdate: 0.2
* /turtlebot3_slam_gmapping/astep: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/base_frame: base_footprint
* /turtlebot3_slam_gmapping/delta: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/iterations: 5
* /turtlebot3_slam_gmapping/kernelSize: 1
* /turtlebot3_slam_gmapping/lasamplerange: 0.005
* /turtlebot3_slam_gmapping/lasamplestep: 0.005
* /turtlebot3_slam_gmapping/linearUpdate: 1.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/lssamplerange: 0.01
* /turtlebot3_slam_gmapping/lssamplestep: 0.01
* /turtlebot3_slam_gmapping/lsigma: 0.075
* /turtlebot3_slam_gmapping/lskip: 0
* /turtlebot3_slam_gmapping/lstep: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/map_frame: map
* /turtlebot3_slam_gmapping/map_update_interval: 2.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/maxUrange: 3.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/minimumScore: 50
* /turtlebot3_slam_gmapping/odom_frame: odom
* /turtlebot3_slam_gmapping/ogain: 3.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/particles: 100
* /turtlebot3_slam_gmapping/resampleThreshold: 0.5
* /turtlebot3_slam_gmapping/sigma: 0.05
* /turtlebot3_slam_gmapping/srr: 0.1
* /turtlebot3_slam_gmapping/srt: 0.2
* /turtlebot3_slam_gmapping/str: 0.1
* /turtlebot3_slam_gmapping/stt: 0.2
* /turtlebot3_slam_gmapping/temporalUpdate: 0.5
* /turtlebot3_slam_gmapping/xmax: 10.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/xmin: -10.0
* /turtlebot3_slam_gmapping/ymax: 10.0

```

Εικόνα 42 Παράδειγμα εκτέλεσης SLAM

```
roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
m_count 29
Average Scan Matching Score=83.813
neff= 100
Registering Scans:Done
update frame 90
update ld=1.17282e-05 ad=0.000105202
Laser Pose= -0.0628854 0.00123962 -3.12897
m_count 30
Average Scan Matching Score=84.7604
neff= 100
Registering Scans:Done
update frame 93
update ld=1.1855e-05 ad=0.000106345
Laser Pose= -0.0628796 0.00124997 -3.12886
m_count 31
Average Scan Matching Score=82.8202
neff= 100
Registering Scans:Done
update frame 96
update ld=1.18209e-05 ad=0.000106043
Laser Pose= -0.0628738 0.00126028 -3.12876
m_count 32
Average Scan Matching Score=83.8399
neff= 100
Registering Scans:Done
update frame 99
update ld=1.18474e-05 ad=0.000106286
Laser Pose= -0.0628681 0.00127062 -3.12865
m_count 33
Average Scan Matching Score=84.8088
neff= 100
Registering Scans:Done
update frame 102
update ld=1.17851e-05 ad=0.000105731
Laser Pose= -0.0628623 0.00128091 -3.12854
m_count 34
Average Scan Matching Score=83.8024
neff= 100
Registering Scans:Done

```

Εικόνα 43 Μετρήσεις αισθητήρων λείζερ

Το όχημα που έχει οριστεί και εμφανιστεί πρέπει τώρα να αποκτήσει έναν τρόπο με τον οποίο οι εντολές πλοήγησης να γίνουν πραγματικότητα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του πακέτου `move_base` και με την εκτέλεση του αρχείου `move_base.launch`.

- **roslaunch turtlebot3_navigation move_base.launch**

```

roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /opt/ros/noetic/share/tur... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ roslaunch turtlebot3_navigation move_base.launch
... logging to /home/vmak/.ros/log/ded746a2-deaa-11ee-be21-3d24db30c75d/roslaunch-vmak-Inspiron-3542-5163.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /move_base/DWAPlanerROS/acc_lim_theta: 3.2
* /move_base/DWAPlanerROS/acc_lim_x: 2.5
* /move_base/DWAPlanerROS/acc_lim_y: 0.0
* /move_base/DWAPlanerROS/controller_frequency: 10.0
* /move_base/DWAPlanerROS/forward_point_distance: 0.325
* /move_base/DWAPlanerROS/goal_distance_bias: 20.0
* /move_base/DWAPlanerROS/latch_xy_goal_tolerance: False
* /move_base/DWAPlanerROS/max_scaling_factor: 0.2
* /move_base/DWAPlanerROS/max_vel_theta: 1.82
* /move_base/DWAPlanerROS/max_vel_trans: 0.26
* /move_base/DWAPlanerROS/max_vel_x: 0.26
* /move_base/DWAPlanerROS/max_vel_y: 0.0
* /move_base/DWAPlanerROS/min_vel_theta: 0.9
* /move_base/DWAPlanerROS/min_vel_trans: 0.13
* /move_base/DWAPlanerROS/min_vel_x: -0.26
* /move_base/DWAPlanerROS/min_vel_y: 0.0
* /move_base/DWAPlanerROS/occdist_scale: 0.02
* /move_base/DWAPlanerROS/oscillation_reset_dist: 0.05
* /move_base/DWAPlanerROS/path_distance_bias: 32.0
* /move_base/DWAPlanerROS/publish_cost_grid_pc: True
* /move_base/DWAPlanerROS/publish_traj_pc: True
* /move_base/DWAPlanerROS/scaling_speed: 0.25
* /move_base/DWAPlanerROS/sim_time: 2.0
* /move_base/DWAPlanerROS/stop_time_buffer: 0.2
* /move_base/DWAPlanerROS/vth_samples: 40
* /move_base/DWAPlanerROS/vx_samples: 20
* /move_base/DWAPlanerROS/vy_samples: 0

```

Εικόνα 44 Εκκίνηση πακέτου move_base

```
roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /opt/ros/noetic/share/tur... x vmak@vmak-Inspiron-3542... x
* /move_base/global_costmap/scan/data_type: LaserScan
* /move_base/global_costmap/scan/marking: True
* /move_base/global_costmap/scan/sensor_frame: base_scan
* /move_base/global_costmap/scan/topic: scan
* /move_base/global_costmap/static_map: True
* /move_base/global_costmap/transform_tolerance: 0.5
* /move_base/global_costmap/update_frequency: 10.0
* /move_base/local_costmap/cost_scaling_factor: 3.0
* /move_base/local_costmap/footprint: [[-0.205, -0.155]...]
* /move_base/local_costmap/global_frame: odom
* /move_base/local_costmap/height: 3
* /move_base/local_costmap/inflation_radius: 1.0
* /move_base/local_costmap/map_type: costmap
* /move_base/local_costmap/observation_sources: scan
* /move_base/local_costmap/obstacle_range: 3.0
* /move_base/local_costmap/publish_frequency: 10.0
* /move_base/local_costmap/raytrace_range: 3.5
* /move_base/local_costmap/resolution: 0.05
* /move_base/local_costmap/robot_base_frame: base_footprint
* /move_base/local_costmap/rolling_window: True
* /move_base/local_costmap/scan/clearing: True
* /move_base/local_costmap/scan/data_type: LaserScan
* /move_base/local_costmap/scan/marking: True
* /move_base/local_costmap/scan/sensor_frame: base_scan
* /move_base/local_costmap/scan/topic: scan
* /move_base/local_costmap/static_map: False
* /move_base/local_costmap/transform_tolerance: 0.5
* /move_base/local_costmap/update_frequency: 10.0
* /move_base/local_costmap/width: 3
* /move_base/oscillation_distance: 0.2
* /move_base/oscillation_timeout: 10.0
* /move_base/planner_frequency: 5.0
* /move_base/planner_patience: 5.0
* /move_base/shutdown_costmaps: False
* /roscpp: noetic
* /rosversion: 1.16.0

NODES
/
  move_base (move_base/move_base)
```

Εικόνα 45 Εκτέλεση πακέτου move_base

Με το τελευταίο βήμα που έγινε έχουν ολοκληρωθεί οι απαραίτητες ενέργειες για να είναι εφικτή η εκτέλεση του πακέτου explore_lite. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την εκκίνηση του πακέτου.

- `roslaunch explore_pkg explore.launch`

```

roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ export TURTLEBOT3_MODEL=waffle
vmak@vmak-Inspiron-3542:~$ roslaunch explore_pkg explore.launch
... logging to /home/vmak/.ros/log/ded746a2-deaa-11ee-be21-3d24db30c75d/roslaunch-vmak-Inspiron-3542-5249.log
Checking log directory for disk usage. This may take a while.
Press Ctrl-C to interrupt
Done checking log file disk usage. Usage is <1GB.

SUMMARY
=====

PARAMETERS
* /explore/costmap_topic: map
* /explore/costmap_updates_topic: map_updates
* /explore/gain_scale: 1.0
* /explore/min_frontier_size: 0.75
* /explore/orientation_scale: 0.0
* /explore/planner_frequency: 0.33
* /explore/potential_scale: 3.0
* /explore/progress_timeout: 30.0
* /explore/robot_base_frame: base_link
* /explore/transform_tolerance: 0.3
* /explore/visualize: True
* /roscdistro: noetic
* /rosversion: 1.16.0

NODES
/
  explore (explore_lite/explore)

[ INFO] [1710053850.439766093]: Waiting for costmap to become available, topic: map
[DEBUG] [1710053850.555692733, 3051.935000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053850.557644513, 3051.935000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053850.568638016, 3051.944000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053850.746420359, 3052.036000000]: Spinning up a thread for the SimpleActionClient
[ INFO] [1710053850.837464384, 3052.088000000]: Waiting to connect to move_base server

```

Εικόνα 46 Εκτέλεση πακέτου `explore_lite`

Καθώς το πακέτο εκτελείται εμφανίζονται στο τερματικό οι μετρήσεις του οχήματος ενώ αυτό κινείται. Στις επόμενες εικόνες εμφανίζονται όλα τα μηνύματα από τις διεργασίες του ρομπότ.

```
roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x
[ INFO] [1710053850.439766093]: Waiting for costmap to become available, topic: map
[DEBUG] [1710053850.555692733, 3051.935000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053850.557644513, 3051.935000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053850.568638016, 3051.944000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053850.746420359, 3052.036000000]: Spinning up a thread for the SimpleActionClient
[ INFO] [1710053850.837464384, 3052.088000000]: Waiting to connect to move_base server
[DEBUG] [1710053851.064934354, 3052.173000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053851.221929487, 3052.245000000]: Getting status over the wire.
[ INFO] [1710053851.222319779, 3052.245000000]: Connected to move_base server
[DEBUG] [1710053851.222900842, 3052.245000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053851.223403429, 3052.245000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053851.231786959, 3052.245000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053851.517200443, 3052.377000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053851.517294312, 3052.377000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053851.525603668, 3052.377000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053851.647468376, 3052.445000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053851.612585082, 3052.644000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053852.500544219, 3052.845000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053852.881992023, 3053.046000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053853.299772839, 3053.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053853.814728982, 3053.445000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053854.311020218, 3053.646000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053854.713794370, 3053.845000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053855.231685988, 3054.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053855.779656826, 3054.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053856.143680581, 3054.445000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053856.590506597, 3054.645000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053856.887536395, 3054.741000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053856.887654148, 3054.741000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053856.895712706, 3054.741000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053857.111527112, 3054.845000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053857.570653767, 3055.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.095484525, 3055.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.191960518, 3055.281000000]: found 2 frontiers
[DEBUG] [1710053858.192483029, 3055.281000000]: frontier 0 cost: -5.076283
[DEBUG] [1710053858.192681118, 3055.281000000]: frontier 1 cost: -4.689393
[DEBUG] [1710053858.193251007, 3055.281000000]: visualising 2 frontiers
[DEBUG] [1710053858.193746773, 3055.281000000]: Trying to publish message of type [visualization_msgs/MarkerArray/d155b9ce5188fbaf89745847fd5882d7] on
```

Εικόνα 47 Στιγμιότυπο εκτέλεσης explore_lite

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το πακέτο explore_lite να εκτελείται με τα μηνύματα οπτικοποίησης των ορίων του χάρτη και με τις ενημερώσεις για τα σημεία που δεν έχουν εξερευνηθεί στον χάρτη να απεικονίζονται με πράσινο χρώμα στο τερματικό.

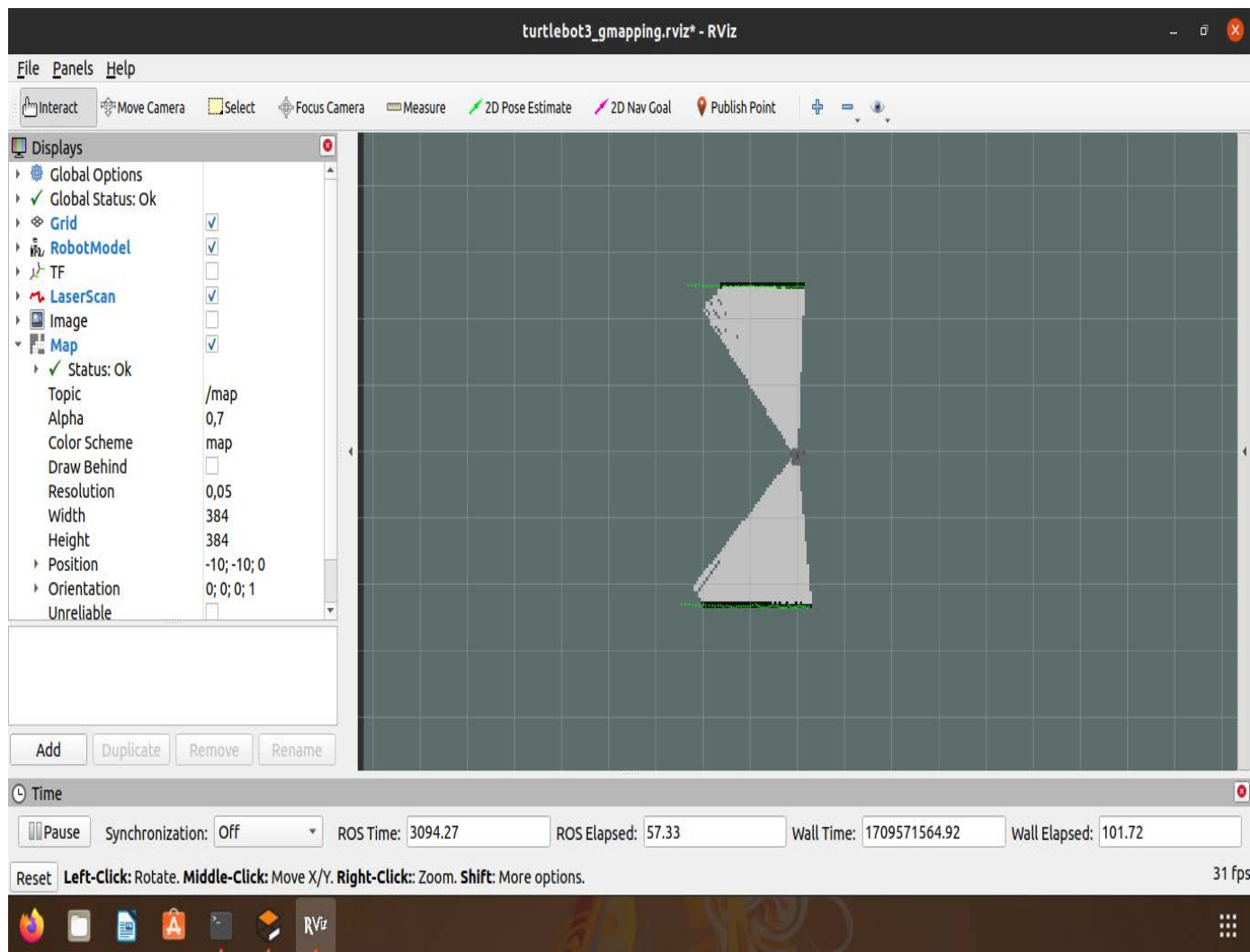
```

roscore http://192.168.0.1... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /opt/ros/noetic/share/tur... x /home/vmak/catkin_ws/tu... x
[DEBUG] [1710053857.111527112, 3054.845000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053857.570653767, 3055.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.095484525, 3055.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.191960518, 3055.281000000]: found 2 frontiers
[DEBUG] [1710053858.192483029, 3055.281000000]: frontier 0 cost: -5.076283
[DEBUG] [1710053858.192868118, 3055.281000000]: frontier 1 cost: -4.689393
[DEBUG] [1710053858.193251007, 3055.281000000]: visualising 2 frontiers
[DEBUG] [1710053858.193746773, 3055.281000000]: Trying to publish message of type [visualization_msgs/MarkerArray/d155b9ce5188fbaf89745847fd5882d7] on
a publisher with type [visualization_msgs/MarkerArray/d155b9ce5188fbaf89745847fd5882d7]
[DEBUG] [1710053858.194130245, 3055.281000000]: about to start initGoal()
[DEBUG] [1710053858.194708525, 3055.281000000]: Trying to publish message of type [move_base_msgs/MoveBaseActionGoal/660d6895a1b9a16dce51fbd9a64a56b]
on a publisher with type [move_base_msgs/MoveBaseActionGoal/660d6895a1b9a16dce51fbd9a64a56b]
[DEBUG] [1710053858.195125471, 3055.281000000]: Done with initGoal()
[DEBUG] [1710053858.215817740, 3055.286000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.215971067, 3055.286000000]: Trying to transition to ACTIVE
[DEBUG] [1710053858.216035599, 3055.286000000]: Transitioning CommState from WAITING_FOR_GOAL_ACK to ACTIVE
[DEBUG] [1710053858.216109087, 3055.286000000]: Transitioning SimpleState from [PENDING] to [ACTIVE]
[DEBUG] [1710053858.531150182, 3055.446000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053858.898579310, 3055.645000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053859.348501030, 3055.846000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053860.023529945, 3056.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053860.444407273, 3056.246000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053861.122321648, 3056.445000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053861.481905912, 3056.645000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053861.977071336, 3056.846000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053862.299566424, 3057.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053862.849094825, 3057.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053862.870946598, 3057.252000000]: received full new map, resizing to: 384, 384
[DEBUG] [1710053862.871374730, 3057.252000000]: full map update, 147456 values
[DEBUG] [1710053862.877772555, 3057.252000000]: map updated, written 147456 values
[DEBUG] [1710053863.346110973, 3057.445000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053863.809036329, 3057.647000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053864.279574269, 3057.845000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053864.791864726, 3058.045000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053865.223979262, 3058.245000000]: Getting status over the wire.
[DEBUG] [1710053865.451884384, 3058.314000000]: found 2 frontiers
[DEBUG] [1710053865.452004189, 3058.314000000]: frontier 0 cost: -5.035483
[DEBUG] [1710053865.452051872, 3058.314000000]: frontier 1 cost: -4.742500
[DEBUG] [1710053865.452090001, 3058.314000000]: visualising 2 frontiers
[DEBUG] [1710053865.846072585, 3058.446000000]: Getting status over the wire.

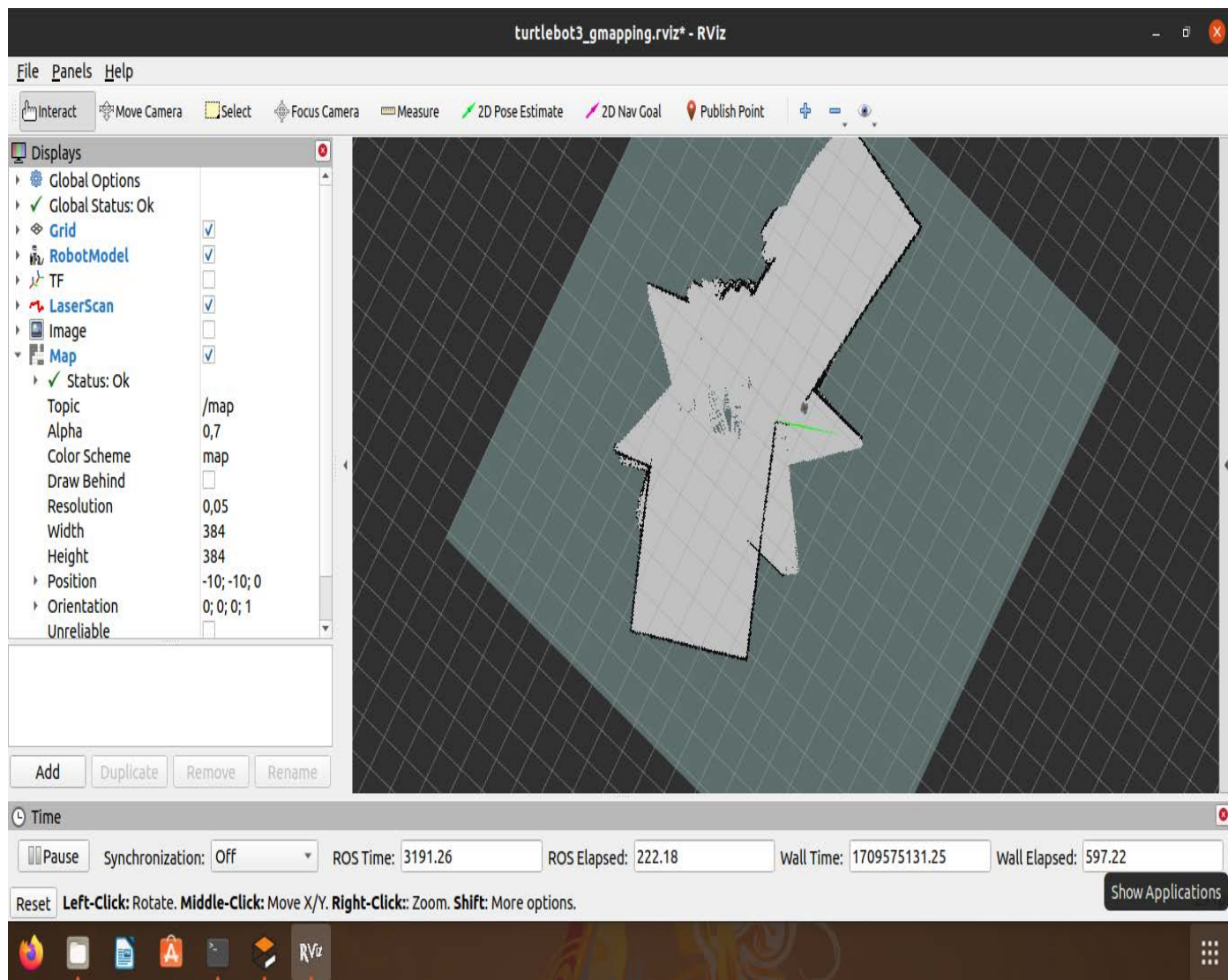
```

Εικόνα 48 explore_lite

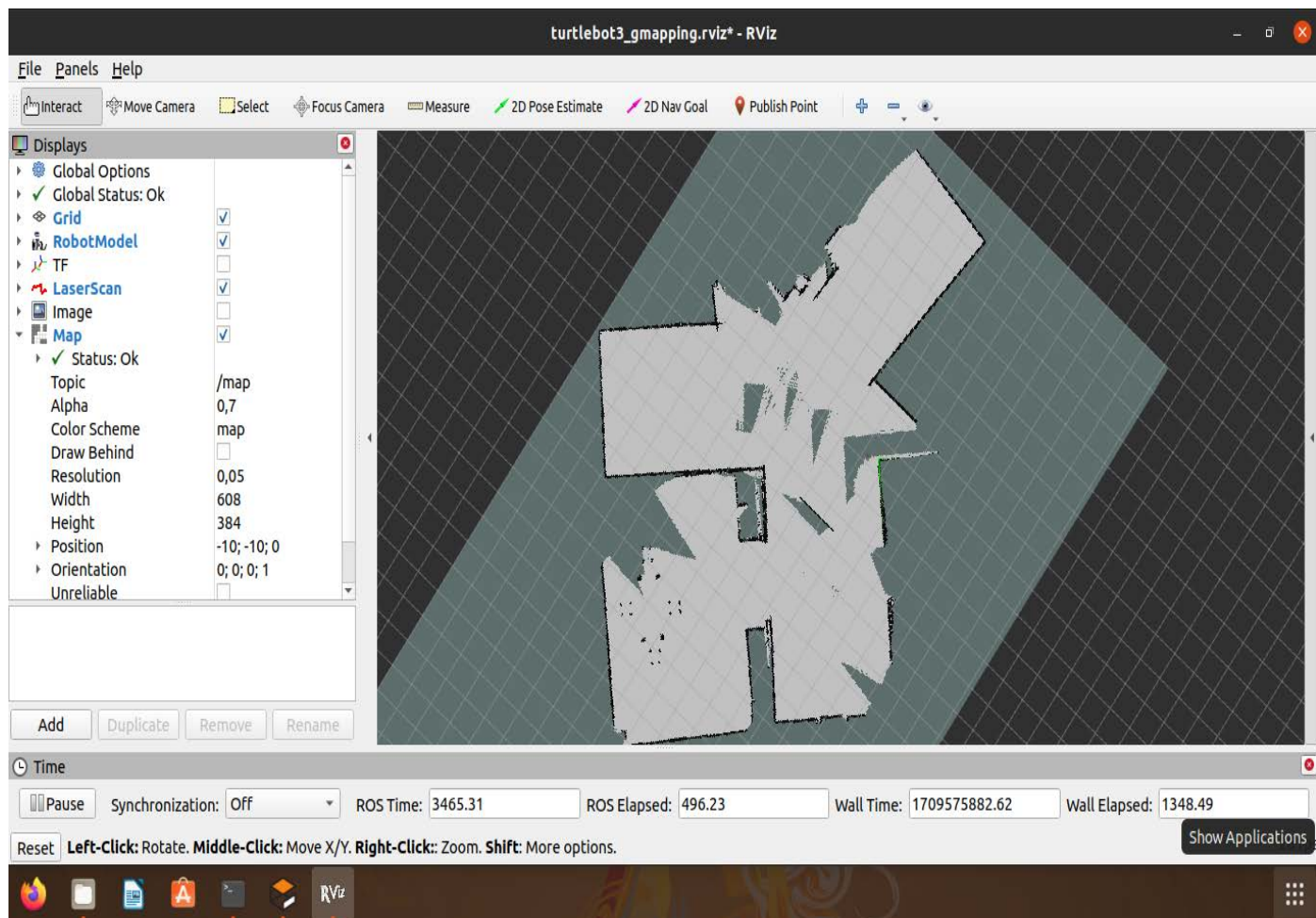
Στο μεταξύ στο Rviz ανακαλύπτεται από το ρομποτικό όχημα ολοένα και περισσότερο ο χάρτης όπως δείχνει η διαφορά χρώματος με το ανοιχτό γκρι να συμβολίζει τον ήδη εξερευνημένο χώρο.



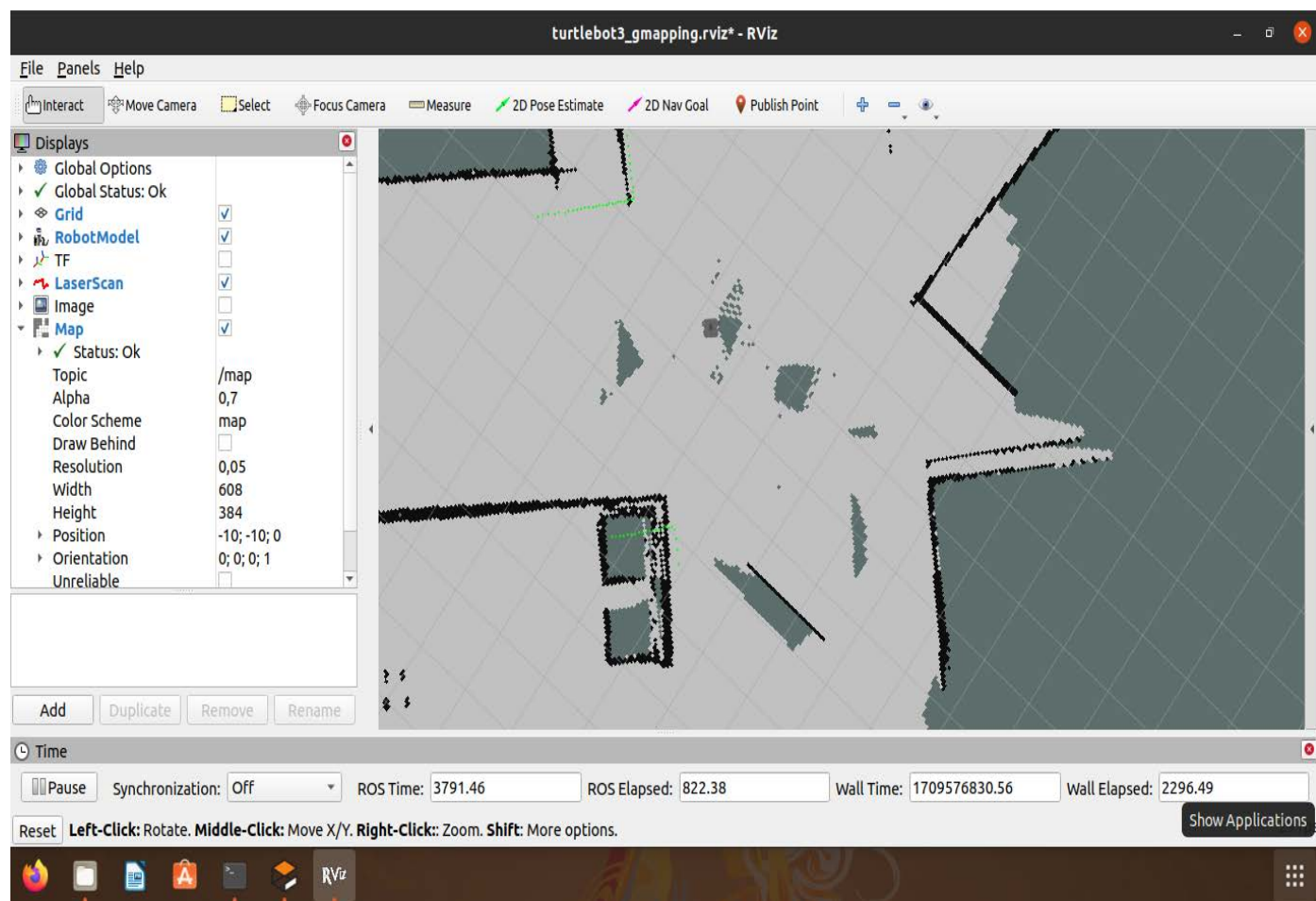
Εικόνα 49 Αρχική θέση ρομπότ στον χάρτη προς εξερεύνηση



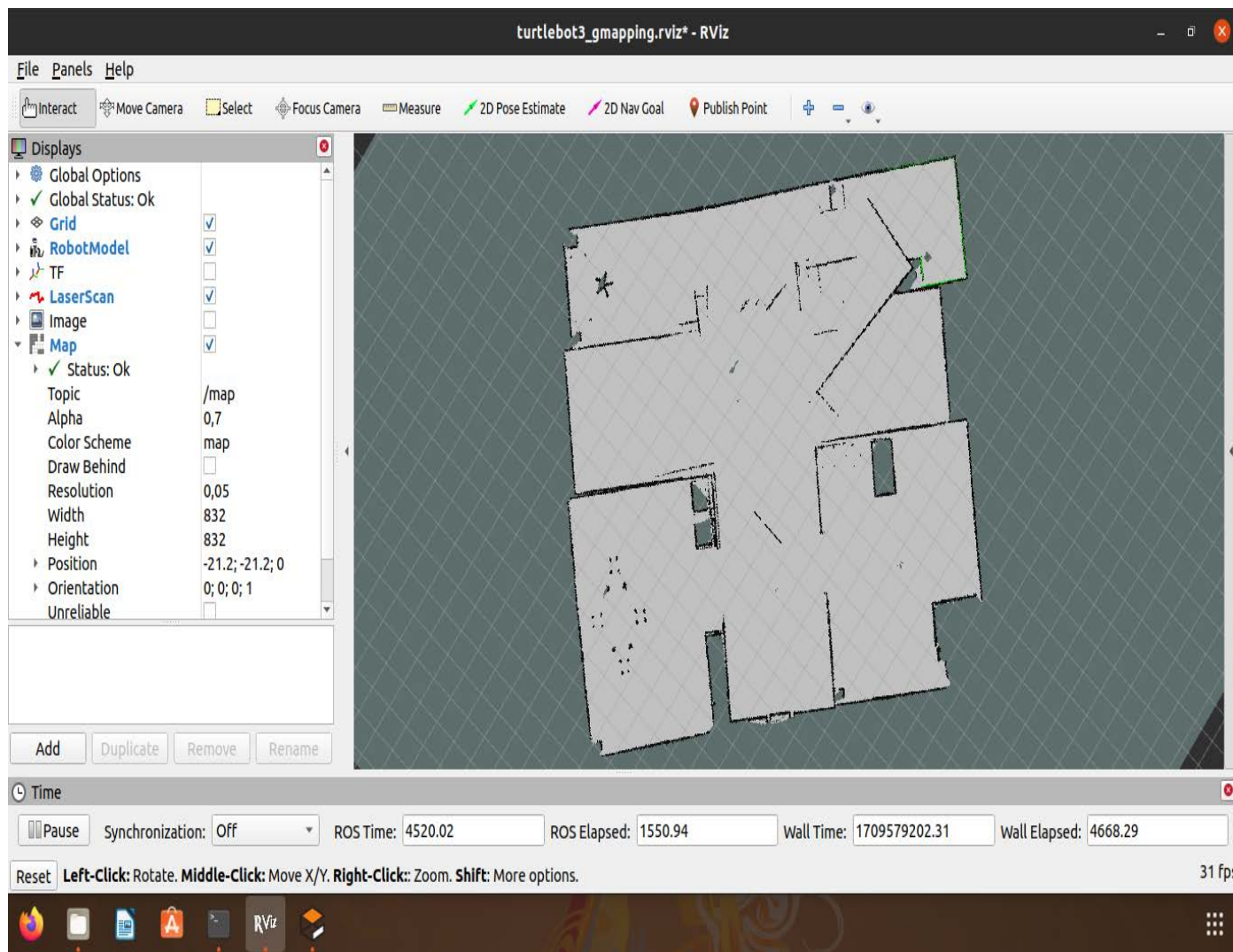
Εικόνα 50 εξερεύνηση Χάρτη 1



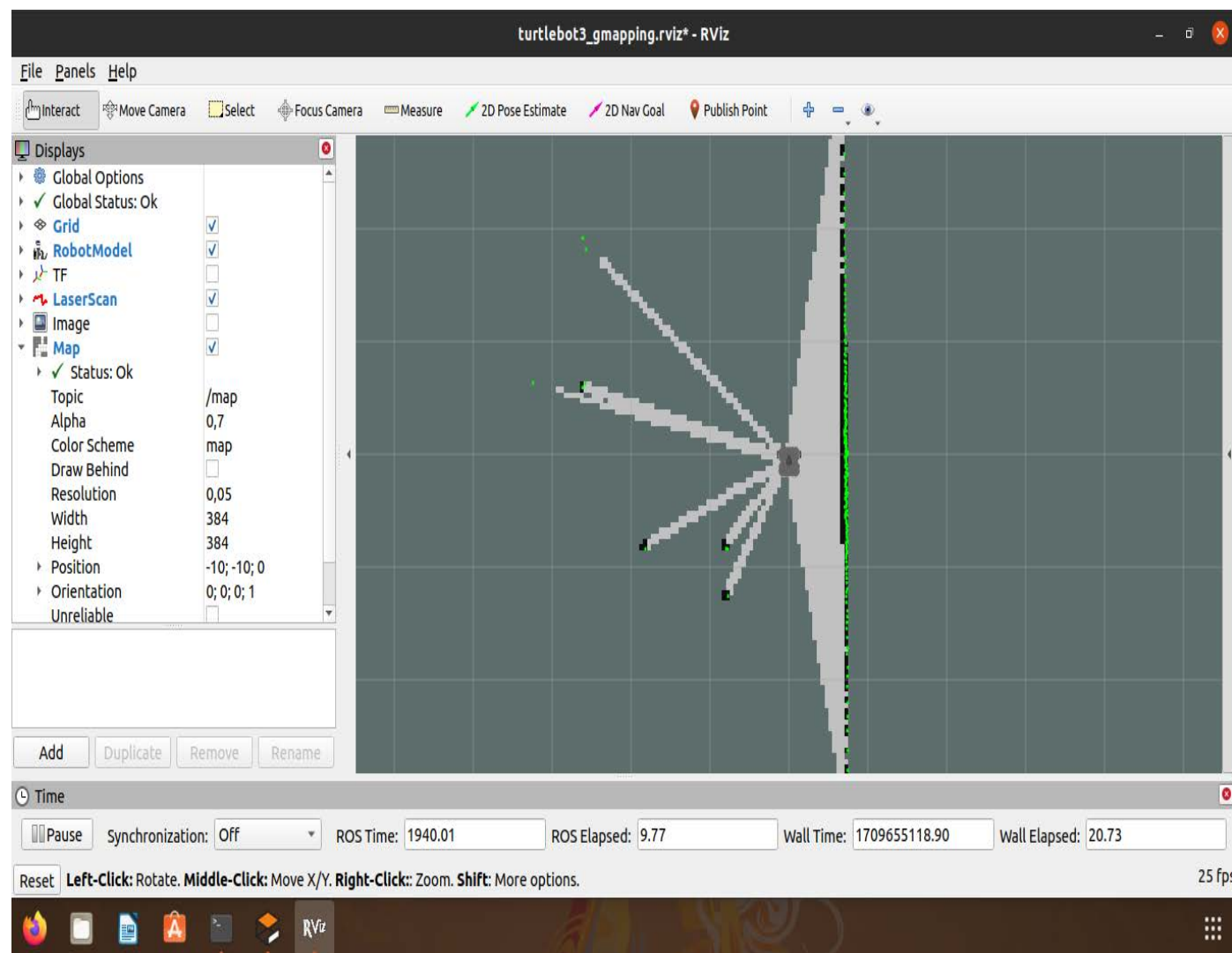
Εικόνα 51 Εξερεύνηση Χάρτη 1



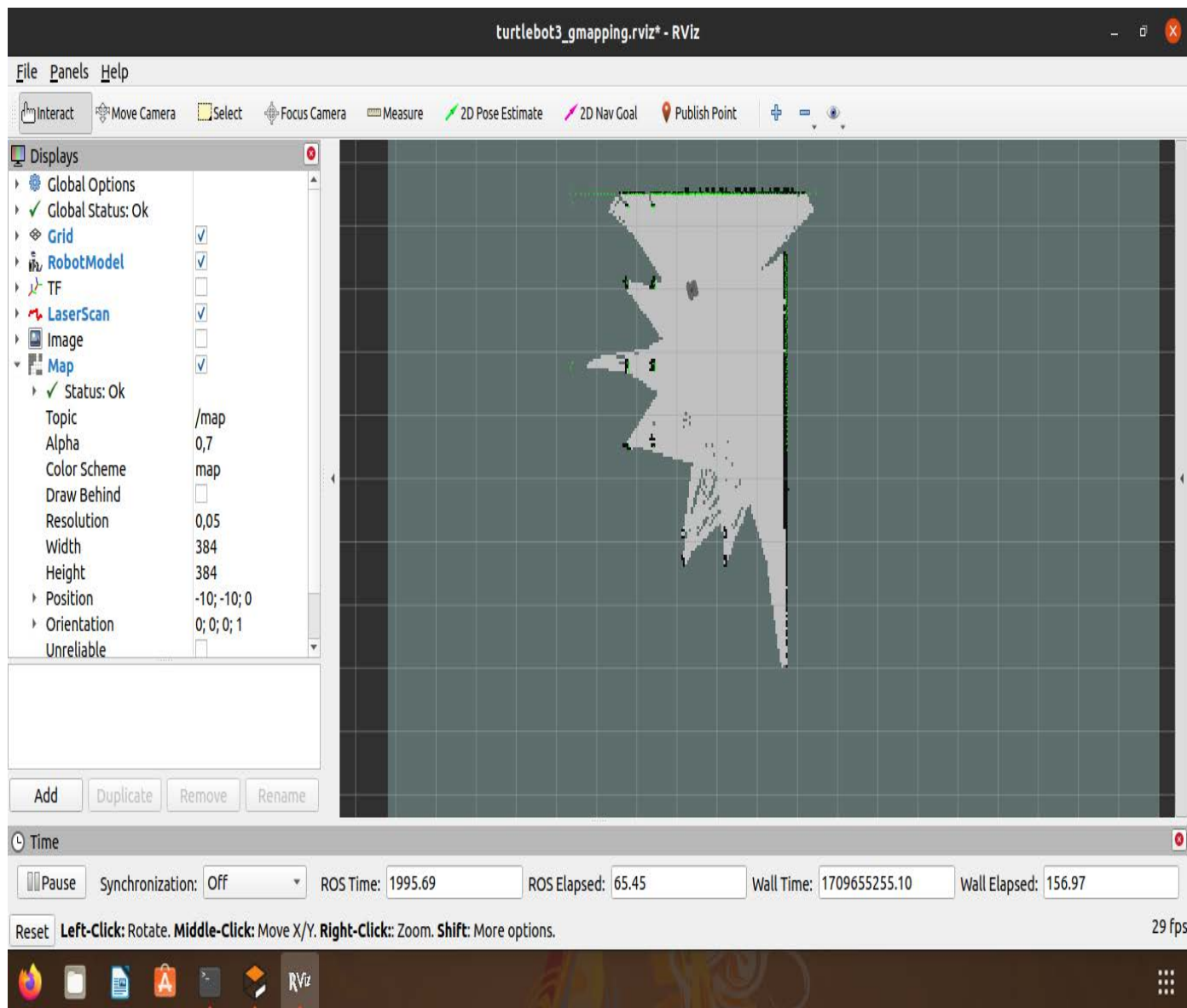
Εικόνα 52 Εξερεύνηση Χάρτη 1



Εικόνα 53 Εξερεύνηση Χάρτη 1



Εικόνα 54 Εξερεύνηση Χάρτη 2



Εικόνα 55 Εξερεύνηση Χάρτη 2

Ένα ακόμη σημαντικό μέρος του πακέτου `explore_lite` είναι η αντιμετώπιση σημείων στον χάρτη που μπορούν να αποδειχθούν πολύ στενά για την κίνηση του ρομπότ. Όπως είδαμε στο τέταρτο κεφάλαιο και στο υποκεφάλαιο της `MOVE_BASE` (εικόνα 34) το ρομπότ προβαίνει σε μια σειρά ενεργειών απεμπλοκής οι οποίες είναι ενσωματωμένες στον κώδικα του πακέτου `explore_lite` και φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

```

roscore http://192.168.0.101:11311/ x /home/vmak/catkin_ws/turtlebot_... x /opt/ros/noetic/share/turtlebot3_s... x /opt/ros/noetic/share/turtlebot3_n... x
[ INFO] [1710082330.767377717, 2221.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082331.270199639, 2222.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082331.835970336, 2222.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082332.277011779, 2222.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082332.775936771, 2222.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082333.263934926, 2222.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082333.874293515, 2223.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082334.356136641, 2223.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082334.812224664, 2223.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082335.310896476, 2223.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082335.754881002, 2223.918000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082336.251707607, 2224.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082336.942189616, 2224.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082337.466194793, 2224.519000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082337.942455436, 2224.718000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082338.165472401, 2224.828000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1110 seconds
[ WARN] [1710082338.346748827, 2224.919000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1020 seconds
[ INFO] [1710082338.347471474, 2224.919000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082338.839110557, 2225.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082339.423661659, 2225.319000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082340.042516296, 2225.517000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082340.500023656, 2225.632000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1150 seconds
[ INFO] [1710082340.837229491, 2225.719000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082341.204011074, 2225.832000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1150 seconds
[ WARN] [1710082341.587813536, 2225.956000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1390 seconds
[ INFO] [1710082341.589197473, 2225.956000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082341.818441146, 2226.021000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1040 seconds
[ INFO] [1710082342.166673556, 2226.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082342.848370251, 2226.317000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082343.171313310, 2226.437000000]: Control loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1200 seconds
[ WARN] [1710082343.327375585, 2226.489000000]: Map update loop missed its desired rate of 10.0000Hz... the loop actually took 0.1180 seconds
[ INFO] [1710082343.456633783, 2226.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082344.091763231, 2226.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082344.708518215, 2226.918000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082345.235351755, 2227.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082345.701659046, 2227.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082346.187269152, 2227.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082346.722066057, 2227.724000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082347.175840766, 2227.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082347.684006255, 2228.117000000]: Got new plan

```

Εικόνα 56 Παράδειγμα μπλοκαρίσματος οχήματος από την οπτική του πακέτο move_base

```
roscore http://192.168.0.101:11311/ x /home/vmak/catkin_ws/turtlebot... x /opt/ros/noetic/share/turtlebot3_s... x /opt/ros/noetic/share/turtlebot3_n... x
[ INFO] [1710082383.189759530, 2240.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082383.611462069, 2240.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082384.216548775, 2240.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082384.897588146, 2240.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082385.627725572, 2241.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082386.366238711, 2241.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082387.037030924, 2241.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082387.972590840, 2241.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082388.734554702, 2241.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082389.439056442, 2242.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082390.063055607, 2242.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082390.973391348, 2242.518000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082391.480092419, 2242.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082392.174296180, 2242.918000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082392.810544270, 2243.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082393.390570766, 2243.318000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082394.188509183, 2243.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082394.914382253, 2243.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082395.611073095, 2243.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082396.253769483, 2244.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082398.941900288, 2244.918000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082399.812003028, 2245.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082400.359433196, 2245.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082401.120144898, 2245.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082401.827559662, 2245.718000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082402.409204013, 2245.917000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082403.080914171, 2246.117000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082403.622740649, 2246.317000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082404.357197647, 2246.517000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082404.894253502, 2246.717000000]: Got new plan
[ INFO] [1710082405.620227109, 2246.917000000]: Got new plan
[ WARN] [1710082436.409184812, 2257.717000000]: Clearing both costmaps outside a square (3.00m) large centered on the robot.
[ WARN] [1710082462.127663690, 2266.719000000]: Clearing both costmaps outside a square (3.00m) large centered on the robot.
[ WARN] [1710082477.003135812, 2271.917000000]: Rotate recovery behavior started.
[ WARN] [1710082516.133889690, 2284.917000000]: Clearing both costmaps outside a square (3.00m) large centered on the robot.
[ WARN] [1710082542.666308803, 2294.019000000]: Clearing both costmaps outside a square (3.00m) large centered on the robot.
[ WARN] [1710082556.532078320, 2299.117000000]: Rotate recovery behavior started.
[ WARN] [1710082587.353830358, 2310.667000000]: Clearing both costmaps outside a square (1.84m) large centered on the robot.
[ WARN] [1710082605.140669978, 2315.767000000]: Rotate recovery behavior started.
```

Εικόνα 57 Βήματα απεμπλοκής οχήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Συμπεράσματα

Η επιστήμη της ρομποτικής αναπτύσσεται εδώ και δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα τα αυτόνομα ρομποτικά οχήματα έχουν αναπτυχθεί τεχνολογικά σε πολύ μεγάλο βαθμό και στο σημείο που μπορούν πλέον και έχουν την ικανότητα να εκτελούν αποτελεσματικά εφαρμογές σε πολλά διαφορετικά πεδία. Η συνεχής βελτίωση του υλικού που χρησιμοποιείται στην ρομποτική, είτε αυτό αφορά τους αισθητήρες καταγραφής, είτε τους ηλεκτροκινητήρες και τους τροχούς, έχει με την σειρά της συμβάλλει στην ποικιλία εργασιών που μπορούν πλέον να εκτελέσουν τα ρομποτικά οχήματα.

Η πρόοδος που έχει σημειώσει η επιστήμη της τεχνητής νοημοσύνης είναι επίσης ένας από τους βασικούς παράγοντες που έχει αυξηθεί ραγδαία η παραγωγικότητα των ρομποτικών συστημάτων σε διάφορους λειτουργικούς

τομείς, αλλά κυρίως στα χαρακτηριστικά που αφορούν την πλοήγησή τους. Η ανάπτυξη ενός ρομποτικού συστήματος στο οποίο υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ των διαφόρων τμημάτων, όπως το σύστημα καταγραφής φυσικών αντικειμένων μέσω των αισθητήρων, το σύστημα επεξεργασίας δεδομένων και το σύστημα εκτέλεσης ενεργειών όπως η περιστροφή, η επιτάχυνση και η επιβράδυνση, εξυπηρετεί στην εύρεση αποτελεσματικών λύσεων σχετικά με την πορεία που θα ακολουθήσει το ρομπότ.

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία παρουσιάστηκε το εργαλείο Gazebo το οποίο μπορεί οποιοσδήποτε να χρησιμοποιήσει για να κατασκευάσει τρισδιάστατους χάρτες. Επίσης, έγινε περιγραφή του εργαλείου παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο Rviz ενώ το αυτόνομο ρομποτικό όχημα πλοηγείται και χαρτογραφεί τον χάρτη. Έγινε επίσης ανάλυση των πακέτων λογισμικού που είναι απαραίτητα για την αυτόνομη εξερεύνηση, ποιο συγκεκριμένα το πακέτο `move_base` για την υλοποίηση των εντολών ελέγχου πορείας του ρομπότ, το πακέτο για την υλοποίηση του SLAM με χρήση του αλγορίθμου `gmapping` και το πακέτο `explore_lite` για την πραγματοποίηση της αυτόνομης εξερεύνησης και ταυτόχρονα χαρτογράφησης. Επομένως, για την ανάπτυξη και την κατασκευή ενός ρομπότ, με ρόλο την εξερεύνηση μέσα σε ένα πολύπλοκο κλειστό περιβάλλον, είναι απαραίτητο να προβεί κάποιος στις ενέργειες που παρουσιάστηκαν σε αυτή την εργασία.

Εν κατακλείδι, οι τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάπτυξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας μπορούν να δώσουν στο ρομποτικό όχημα ότι χρειάζεται για την περιήγηση του μέσα στον κλειστό χώρο προς εξερεύνηση χωρίς όμως αυτό να σημαίνει πως εργασίες οι οποίες απαιτούν πρόσθετες ενέργειες, όπως η μετακίνηση αντικειμένων να καλύπτονται από το συγκεκριμένο λογισμικό. Μπορεί όμως να αποτελέσει την βάση πάνω στην οποία τέτοιες εργασίες είναι δυνατόν να ολοκληρωθούν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] [ROBOT | English meaning - Cambridge Dictionary.](#)
- [2] [The Complete History And Future of Robots | WIRED.](#)
- [3] [Shakey the Robot - SRI.](#)
- [4] [Unimate - The First Industrial Robot \(automate.org\).](#)
- [5] [Βιομηχανικό ρομπότ — Φωτογραφία Αρχείου © beawolf #43433305 \(depositphotos.com\).](#)
- [6] [What are popular uses of drones? - Geospatial World.](#)
- [7] [Sony shows off its Airpeak filmmaking drone for the first time \(engadget.com\).](#)
- [8] [Configuration of UUV control system. | Download Scientific Diagram \(researchgate.net\).](#)
- [9] [Starbug underwater vehicle: collecting data from the sea – CSIRO Robotics](#)
- [10] [China Reveals Designs for Mars Rover Mission - Universe Today.](#)
- [11] [TPSearchTool.com | Search Images, Videos, News Free.](#)
- [12] [TIM561-2050101 Sick | Sick TIM5XX Series Laser Scanner LiDAR Sensor, 10m Max Range | 213-3820 | RS Components \(rsdelivers.com\).](#)
- [13] [Intel RealSense Depth Camera D455 82635DSD455 B&H Photo Video \(bhphotovideo.com\).](#)
- [14] [Y31B51113FPLFS C & K | IP67 Tactile Switch, SPST 50 mA 0.57mm Surface Mount | 894-9114 | RS Components \(rsdelivers.com\).](#)
- [15] [Xiaomi Mi Robot Vacuum Mop P STYJ02YM | Ρομποτική Σκούπα Xiaomi Mijia | 230€ \(hotdeals.gr\).](#)
- [16] [Digital agriculture - The University of Sydney Institute of Agriculture.](#)
- [17] [ROS: Home.](#)
- [18] YoonSeok Pyo | HanCheol Cho | RyuWoon Jung | TaeHoon Lim (2017)
ROS Robot Programming From the basic concept to practical programming and robot application.
- [19] [ROS 101: A practical example - Robohub.](#)
- [20] [Intro to ROS — ROS Tutorials 0.5.2 documentation \(clearpathrobotics.com\).](#)
- [21] [Packages - ROS Wiki.](#)
- [22] [Create a ROS Driver Package - Introduction & What is a ROS Wrapper \[1/4\] - The Robotics Back-End \(roboticsbackend.com\).](#)
- [23] [oculusprime ros/navigation rviz tutorial - ROS Wiki.](#)
- [24] [Gazebo - Docs: Sim Architecture \(gazebosim.org\).](#)
- [25] [All about Gazebo ROS \(Gazebo 9\) | The Construct \(theconstructsim.com\).](#)
- [26] [noetic - ROS Wiki.](#)
- [27] [Distributions - ROS Wiki.](#)
- [28] [gmapping.pdf \(berkeley.edu\).](#)
- [29] [What is Simultaneous Localization and Mapping \(SLAM\)? \(flyability.com\).](#)
- [30] [What is Probabilistic Robotics \(activeloop.ai\).](#)
- [31] [Robot vacuum cleaner iRobot Roomba i7 \(R71504\) \(robotxworld.com\).](#)
- [32] [Meet Versius, the surgical robot about to take aim at your organs | WIRED UK.](#)
- [33] [Tesla Full Self-Driving Price Officially Increased To \\$15,000 \(insideevs.com\).](#)
- [34] [Turtlebot3, the Open Source Ubuntu/ROS-Based Robot Kit - Open Electronics - Open Electronics \(open-electronics.org\).](#)
- [35] [Robotis TurtleBot3 Waffle PI \(robosklep.com\).](#)
- [36] [TurtleBot3 \(robotis.com\).](#)
- [37] [OpenMANIPULATOR-X \(robotis.com\).](#)
- [38] [DYNAMIXEL MX-28AR - ROBOTIS.](#)

[39] [move_base - ROS Wiki](#).

[40] [explore_lite - ROS Wiki](#).