



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

ΣΧΟΛΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«ΠΛΑΤΦΟΡΜΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ  
GAZEBO»**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: ΑΔΑΜΟΥ ΗΛΙΑΝΝΑ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΑΛΚΙΟΠΟΥΛΟΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2018**

## Περιεχόμενα

Περιεχόμενα .....	1
Κατάλογος εικόνων .....	3
Περίληψη .....	4
Abstract .....	5
Ευχαριστίες .....	6
Εισαγωγή .....	7
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Λογισμικό Ρομποτικών κατασκευών .....	9
1.1 Λογισμικό ρομποτικών κατασκευών .....	9
1.2 Ρομποτική προσομοίωση .....	9
1.3 Προσομοιωτής ρομποτικής .....	11
1.4 Μη κατάλληλες εφαρμογές ρομποτικής προσομοίωσης για εκπαίδευση .....	12
1.4.1 URBI .....	13
1.4.2 Η προσομοίωση στη γραμμή παραγωγής του ρομπότ .....	14
1.4.3 Robot operating system .....	15
1.4.4 Η διαστημική προσομοίωση .....	17
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Οι πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης .....	18
2.1 Εισαγωγή .....	18
2.2 Anycode marilou .....	18
2.3 Webots .....	22
2.4 Player project .....	24
2.5 Microsoft robotics developer studio .....	27
2.6 Openrave .....	30
2.7 Dialogos .....	31
2.8 Ni Labview robotics module .....	31
2.9 Simbad .....	32
2.10 Camelot Ropsim .....	34
2.11 Carmen Toolcit .....	34
Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup> : Τα πιο γνωστά ρομπότ εκπαιδευτικού χαρακτήρα .....	36
3.1 Εισαγωγή .....	36
3.2 Η περίπτωση Roboplus Bioloid .....	36
3.3 Η περίπτωση Mobile Robot programming toolkit .....	37
3.4 Lego Mindstorms .....	38
3.5 Vex Robotics Design System .....	41
Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup> : Η περίπτωση της Gazebo .....	42

4.1 Γενικά στοιχεία και πλεονεκτήματα του Gazebo .....	42
4.2 Χρήσεις .....	44
4.3 Αναπτυσσόμενη σχέση μεταξύ Gazebo και ROS .....	44
4.4 Περιγραφή περιβάλλοντος Gazebo .....	45
4.5 Αρχιτεκτονική Gazebo .....	49
Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και προτάσεις .....	51
5.1 Συμπεράσματα .....	51
5.2 Προτάσεις .....	57
Βιβλιογραφία .....	58

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.....	45
Εικόνα 2 .....	46
Εικόνα 3 .....	48
Εικόνα 4 .....	50

## Περίληψη

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιφέρει ως αποτέλεσμα της και την ραγδαία εξέλιξη στον κλάδο της ρομποτικής επιστήμης. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί στις μέρες μας, πολλές αξιόλογες και ιδιαίτερα χρήσιμες πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης. Έτσι, λοιπόν, η παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρεί να αναλύσει, μέσα από μία μεγάλη γκάμα βιβλιογραφικών πηγών, το θέμα των πλατφόρμων ρομποτικής προσομοίωσης. Επικεντρώνεται δε, στην περίπτωση Gazebo η οποία αποτελεί αναπόσπαστο, πλέον, εργαλείο δοκιμαστικών δραστηριοτήτων στις ρομποτικές κατασκευές.

## **Abstract**

The development of technology has led to rapid developments in the field of robotics science. For this reason, many remarkable and particularly useful robotic simulation platforms have been developed today. So, this thesis attempts to analyze, through a wide range of bibliographic sources, the issue of robotic simulation platforms. It focuses, in the case of Gazebo, which is now an indispensable tool for testing robotic structures.

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όσους βοήθησαν τόσο στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής, όσο και κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω πρώτα από όλους τον επιβλέπων καθηγητή μου για την βοήθεια και την επίβλεψη της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και για την άψογη συνεργασία και καθοδήγηση του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής.

Επίσης θα ήθελα, να ευχαριστήσω, ακόμη, τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, καθώς και όλους τους διδάσκοντες του τμήματος για τις γνώσεις που μου παρείχαν σε όλη την διάρκεια της φοίτησής μου στο εκπαιδευτικό αυτό ίδρυμα.

Τέλος, επειδή με την εργασία αυτή ολοκληρώνονται και οι σπουδές μου ως προπτυχιακή φοιτήτρια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μας για την ηθική και οικονομική βοήθεια που μου παρείχαν.

## Εισαγωγή

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας έχει επιφέρει ως αποτέλεσμα της και την ραγδαία εξέλιξη στον κλάδο της ρομποτικής επιστήμης. Για τον λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί στις μέρες μας, πολλές αξιόλογες και ιδιαίτερα χρήσιμες πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης.

Έτσι, λοιπόν, η παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρεί να αναλύσει, μέσα από μία μεγάλη γκάμα βιβλιογραφικών πηγών, τόσο βιβλίων όσο και επιστημονικών άρθρων, το θέμα των πλατφόρμων ρομποτικής προσομοίωσης. Επικεντρώνεται δε, στην περίπτωση Gazebo η οποία αποτελεί αναπόσπαστο, πλέον, εργαλείο δοκιμαστικών δραστηριοτήτων στις ρομποτικές κατασκευές με σκοπό να εξάγει όσο γίνεται ασφαλέστερα συμπεράσματα επί του συγκεκριμένου θέματος.

Με σκοπό την καλύτερη κατανόηση του θέματος των πλατφόρμων ρομποτικής προσομοίωσης, η παρούσα πτυχιακή εργασία δομείται σε τέσσερα (4) επιμέρους κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αφορά το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιούν οι ρομποτικές κατασκευές. Πιο συγκεκριμένα, αναλύει την έννοια του ρομποτικού λογισμικού, τον ρομποτικό προσομοιωτή, την διαδικασία προσομοίωσης της ρομποτικής, και τις μη κατάλληλες εφαρμογές της ρομποτικής προσομοίωσης για την εκπαιδευτική διαδικασία.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει τις πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης. Ειδικότερα το anykode marikou, το webots, το player project, το Microsoft robotics developer studio, το openrave, το dialogos, το ni labview robotics module, το simbad, το Camelot ropsim και το Carmen toolkit.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα πιο γνωστά ρομπότ εκπαιδευτικού χαρακτήρα τα οποία είναι το roboplus bioloid, το mobil robot programming toolkit, το lego mindstorms και το vex robotics design system.

Τέλος, το τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο της βιβλιογραφικής επισκόπησης η οποία πραγματοποιήθηκε εντριφθεί στην περίπτωση της Gazebo. Αναλυτικά παρουσιάζει τα γενικά στοιχεία αυτής καθώς και τα πλεονεκτήματα αυτής, τις χρήσεις της, τη σχέση



μεταξύ στην Gazebo και του Ros, την περιγραφή του περιβάλλοντος υλοποίησής της και την αρχιτεκτονική δομή της.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Λογισμικό ρομποτικών κατασκευών

## 1.1 Λογισμικό ρομποτικών κατασκευών

Ως λογισμικό ρομποτικών κατασκευών, καλείται το σύνολο των ορισμένων εντολών που δίνει ο χρήστης σε μία μηχανική συσκευή (ρομπότ), οι οποίες καθορίζουν τη φύση καθώς και το είδος των λειτουργιών που στην συνέχεια θα πραγματοποιήσει το ρομπότ αυτό (Bruyninckx, 2008).

Σε γενικές γραμμές η εύρυθμη λειτουργία των ρομποτικών κατασκευών, αποτελεί μία εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί με τον σωστό και αποτελεσματικό τρόπο. Για αυτόν τον λόγο, έχουν δημιουργηθεί πολυάριθμα, απλά συστήματα λογισμικού, ειδικά για αυτόν τον σκοπό έτσι ώστε να καταστεί η διαδικασία πιο εύκολη και προσιτή. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων, για τον προγραμματισμό των εκάστοτε ρομπότ εφαρμόζονται μέθοδοι προγραμματισμού βασισμένα στην ροή των δεδομένων (Bruyninckx et al., 2013).

## 1.2 Ρομποτική προσομοίωση

Η διαδικασία της προσομοίωσης, είναι γνωστό ότι καταλαμβάνει πολύ σημαντικό κομμάτι, στον κλάδο της ρομποτικής καθώς και σε έτερους επιστημονικούς κλάδους, διότι μέσω αυτής της λειτουργίας, υπάρχει η δυνατότητα υλοποίησης δοκιμαστικής περιόδου για μία καινοτόμα δραστηριότητα, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο χρηματικού πόρους αλλά και πολύ χρόνο (Bezivin, 2005).

Η ρομποτική προσομοίωση, λοιπόν, παρέχει την δυνατότητα δοκιμής σε νέες τεχνολογίες οι οποίες εξελίσσονται σε συνεχώς μεταβαλλόμενα και δυναμικά περιβάλλοντα δράσης, όπως επίσης και πραγματοποιεί με άμεσο τρόπο την συλλογή

αναδραστικών δεδομένων τα οποία εξυπηρετούν στον έλεγχο και στην παρουσία της ποιότητας του εκάστοτε συστήματος. Επιπλέον, μέσω της ρομποτικής προσομοίωσης εξυπηρετείται, κυρίως, η δημιουργία των ρομποτικών συστημάτων ελέγχου τα οποία έχουν άμεση σύνδεση με τυχαίες σταδιακές ή όχι αλλαγές οι οποίες πραγματοποιούνται μέσα από ένα εύρος πολλών και συνεχών επαναλήψεων (Bezivin, 2005).

Εκτός των άλλων, πλέον, με την εξέλιξη της τεχνολογίας στο συνεχώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον που διανύουμε, η ρομποτική προσομοίωση έχει φθάσει στο σημείο να αποτελεί όχι ιδιαίτερα πολυδάπανη διαδικασία η οποία προσφέρει την δυνατότητα ρεαλιστικής απεικόνισης της ολοκληρωμένης λειτουργίας της ρομποτικής (Brugali & Shakhimardanov, 2010).

Η μέθοδος της ρομποτικής προσομοίωσης, όπως όλες άλλωστε οι τεχνικές, συνοδεύεται από πληθώρα πλεονεκτημάτων καθώς και μειονεκτημάτων. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης διαδικασίας είναι τα εξής (Cheng, 2000):

- Το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας της προσομοίωσης ρομποτικού χαρακτήρα διότι αναπόσπαστο εργαλείο της συγκεκριμένης διαδικασίας αποτελεί μόνο ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.
- Η παροχή της δυνατότητας υλοποίησης του ρομποτικού μοντέλου σε σταδιακή εξέλιξη. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι αυτή η παροχή αποτελεί θέμα ζωτικής σημασίας διότι κατ' αυτόν τον τρόπο ο κάθε χρήστης της ρομποτικής προσομοίωσης έχει την δυνατότητα συνεχούς ελέγχου του συστήματος για λάθη που ίσως δεν μπορεί να προβλέψει και εμφανίζονται κατά την διάρκεια εξέλιξης της διαδικασίας.
- Η ανάπτυξη διαφόρων πλατφόρμων που περιέχουν σύνθετα ή απλά ρομποτικά μοντέλα τα οποία είναι διαθέσιμα προς εξέλιξη από άλλους χρήστες, χωρίς να καταστρέφεται το υπάρχον υλικό.
- Η υψηλή σημασία της δραστηριότητας αυτής ως εκπαιδευτικού χαρακτήρα εργαλείο. Πιο συγκεκριμένα, με την ρομποτική προσομοίωση μπορεί να επέλθει η σταδιακή εκπαίδευση ενός χρήστη αφού μέσω του ηλεκτρονικού του υπολογιστή και την πρόσβαση στο σύστημα, έχει την δυνατότητα να δοκιμάσει και να εξελίξει, τεχνικές που ο ίδιος επιθυμεί.

- ü Παρέχει την δυνατότητα μελλοντικής πρόβλεψης στους χρήστες, ύστερα από συνεχείς επαναλήψεις στην διαδικασία της ρομποτικής προσομοίωσης.
- ü Η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων ρομποτικών προσομοιώσεων υλοποιώντας με αυτόν τον τρόπο ακόμα και παιχνίδια σε επίπεδο εικονικής πραγματικότητας.

Όπως αναφέρθηκε, βέβαια και νωρίτερα, εκτός από τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα που παρέχει η προσομοίωση των ρομποτικών κατασκευών, υπάρχουν και εξίσου σημαντικά μειονεκτήματα. Τα βασικά μειονεκτήματα της διαδικασίας ακολουθούν παρακάτω (Cheng, 2000):

- ü Το ποιοτικό επίπεδο της ρομποτικής προσομοίωσης σε σχέση με την λειτουργία ενός πραγματικού ρομπότ είναι πολύ φτωχό και αυτό έχει ως αναπόσπαστο αποτέλεσμα την ενασχόληση για μεγάλο χρονικό διάστημα ενός επιστήμονα με την κατασκευή ρομποτικής μηχανής, ανεξαρτήτως από το αν είναι πολύ σωστή ή όχι η διαδικασία της προσομοίωσης αυτού που έχει πραγματοποιηθεί νωρίτερα.
- ü Η υψηλή δυσκολία αποτύπωσης όλης της ρεαλιστικής πραγματικότητας στην εικονική προσομοίωση της εκαστοτε ρομποτικής κατασκευής.
- ü Δεν μπορεί να υπάρξει πλήρη ταύτιση των λειτουργιών και των συμπεριφορών μεταξύ πραγματικότητας και ρομποτικής προσομοίωσης ανεξαρτήτως του επιπέδου που βρίσκεται η προσομοίωση αυτή.

### **1.3 Προσομοιωτής ρομποτικής**

Η λειτουργία του προσομοιωτή της ρομποτικής, εφαρμόζεται με σκοπό την επιτυχή ανάπτυξη προσαρτημένων κατάλληλων εφαρμογών εντός των ρομποτικών κατασκευών, μηδενίζοντας την αναμενόμενη σύνδεση αυτού, με τη ρεαλιστική – πραγματική ρομποτική μηχανή, δαπανώντας, ο χρήστης, με αυτόν τον τρόπο, σαφώς, λιγότερους χρηματικούς πόρους και σε πολλές περιπτώσεις και λιγότερο αξιοποιήσιμο χρόνο. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι σε πολύ σπάνιες περιπτώσεις η λειτουργία του ρομποτικού προσομοιωτή, έχει την δυνατότητα

να μεταφερθεί χωρίς καμία απολύτως τροποποίηση στον πραγματικό μηχανισμό του ρομπότ (Smits & Bruyninckx, 2011).

Με την έννοια του προσομοιωτή ρομποτικής συνδέονται πολλές εφαρμογές λογισμικού για αυτού του είδους τα μηχανήματα. Οι πιο βασικές χρήσεις του προσομοιωτή ρομποτικής είναι (Brugali & Shakhimardanov, 2010):

- Εφαρμογές ρομπότ που περιέχουν κίνηση: Οι εφαρμογές αυτές αφορούν την συμπεριφορά την οποία αναπτύσσουν οι συσκευές ρομπότ εντός του εκάστοτε περιβάλλοντος που αναπτύσσονται με βάση, πάντα, τις υπάρχουσες συνθήκες.
- Το 3D modeling στο περιβάλλον: Στο λογισμικό αυτό ο προσομοιωτής ρομποτικής, προσπαθεί να περιγράψει, όσο γίνεται με πιο περιγραφικό τρόπο, τις κινήσεις που αναπτύσσει η συσκευή.
- Το 3D rendering στο περιβάλλον: Χαρακτηρίζεται από ρεαλιστική απεικόνιση των εκάστοτε κινήσεων που αναπτύσσει εντός του περιβάλλοντος το ρομπότ με σκοπό την πιστή αντιγραφή του μοντέλου αυτού στην πραγματική κατασκευή της μηχανής.
- Εφαρμογή ελέγχου: Η λειτουργία αυτής της εφαρμογής πραγματοποιείται με σκοπό τη δημιουργία συστήματος ελέγχου των διάφορων προβλημάτων που είτε προϋπάρχουν στην συσκευή είτε εμφανίζονται μετά την εκκίνησή της.

#### **1.4 Μη κατάλληλες εφαρμογές ρομποτικής προσομοίωσης για εκπαίδευση**

Οι πιο γνωστές μη κατάλληλες εφαρμογές της ρομποτικής προσομοίωσης για την διαδικασία της εκπαίδευσης αναλύονται στην συνέχεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας και είναι οι ακόλουθες:

- URBI.
- Η προσομοίωση στην γραμμή παραγωγής των ρομπότ.
- Robot operation system.
- Η διαστημική προσομοίωση.

### 1.4.1 URBI

Η πρώτη μη κατάλληλη για εκπαιδευτική διαδικασία μέθοδο προσομοίωσης είναι η πλατφόρμα URBI.

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα, περιέχει στοιχεία ανοιχτού λογισμικού και η γλώσσα προγραμματισμού την οποία ακολουθεί είναι η C<sup>++</sup> η οποία συστήνεται, συνήθως, στην διαδικασία δημιουργίας πολυσύνθετων εφαρμογών ρομποτικής φύσεως και σκοπού (Κανάραχος, 2001).

Η URBI έχει ως βασικό πυλώνα της, την δομή του UObject, το οποίο και αυτό με την σειρά του ακολουθεί την γλώσσα προγραμματισμού C<sup>++</sup>, όπως επίσης και την γλώσσα προγραμματισμού urbiscript. Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι πολλά δεδομένα της δομής του UObject, έχουν την δυνατότητα να εφαρμοστούν και από την urbiscript και εν συνεχεία να τα υιοθετήσει ως νέα στοιχεία της, τα οποία βοηθούν με εξαιρετικό τρόπο στην ερμηνεία των διαφόρων ενεργειών (Craig, 1997).

Τα πιο βασικά χαρακτηριστικά τα οποία διαθέτει η URBI ακολουθούν παρακάτω (Craig, 1997):

- Το Slam.
- Η δυνατότητα σύνθεσης ορισμένης φωνής.
- Το στοιχείο αναγνώρισης της φωνής των φωνητικών εντολών.
- Η λειτουργία εστίασης και εν συνεχεία αναγνώρισης προσώπου.
- Η δυνατότητα εντοπισμού και αναγνώρισης φωτός.
- Ο εντοπισμός διαφόρων στοιχείων που χαρακτηρίζονται από SIFT.

Επιπλέον, η URBI μπορεί να ενταχθεί στα παρακάτω είδη ρομπότ και προσομοιωτές (Δούλγερη, 2007):

- To Webots.
- To Gostai Open Jazz.
- To Segway.
- To Aibo ERS7/ERS2xx.
- To iRobot Create.
- To Lego Mindstorms NXT.

- Ø Το HRP-2.
- Ø Το Nao.
- Ø Το Robotics Bioloid.
- Ø Το Mobile Robotics Pioneer.
- Ø Το Khepera III.
- Ø Το e-puck.
- Ø Το Surveyor.

### **1.4.2 Η προσομοίωση στη γραμμή παραγωγής ρομπότ**

Η προσομοίωση της κατασκευής ρομπότ στο στάδιο της γραμμής παραγωγής, δεν θεωρείται μία από τις κατάλληλες μεθόδους εκπαιδευτικού χαρακτήρα διότι τόσο το περιβάλλον μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η διαδικασία παραγωγής όσο και η ίδια η διαδικασία εκ φύσεως, αποτελούν εξαιρετικά πολυσύνθετες διαδικασίες κυρίως εξαιτίας του αυξημένου επιπέδου αυτοματοποίησης που λαμβάνει χώρα εντός της γραμμής, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η δυνατότητα εκμάθησης για κάποιον χρήστη (Παλιούρας & Γεωργούλια, 2015).

Άμεση και επιβεβλημένη συνέπεια των παραπάνω στοιχείων, θεωρείται η ένταξη της ρομποτικής προσομοίωσης όπως και ο εκτός λειτουργίας γραμμής παραγωγής προγραμματισμός έτσι ώστε να επιτευχθεί σε τελικό στάδιο η διαχείριση των τελικών προϊόντων αυτής, με την παρουσία του στοιχείου της ποιότητας των παραγόμενων (Klotzbucher et al., 2010).

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η διαδικασία της προσομοίωσης έχει αναλογική σχέση με το χαρακτηριστικό της ακρίβειας και της ποιότητας στην γραμμή παραγωγής. Πιο συγκεκριμένα, η σημαντικότητα της προσομοίωσης στην ρομποτική γραμμή παραγωγής αυξάνεται αναλογικά με την αύξηση της ακρίβειας και της ποιότητας των παραγωγικών προϊόντων που εξάγονται από την διαδικασία αυτή (Παλιούρα & Γεωργούλια, 2015).

### 1.4.3 Robot operating system

Το Robot Operating System είναι γνωστό και με το ακρωνύμιο ROS. Το συγκεκριμένο λογισμικό αποτελεί μία εξελιγμένη εφαρμογή ρομποτικού χαρακτήρα το οποίο διοχετεύει σύγχρονες δραστηριότητες operation system σε διαφορετικής φύσεως ρομποτικά περιβάλλοντα (Quigley et al., 2009).

Το Robot operation system, δημιουργήθηκε το έτος 2007 σε πειραματικό στάδιο από τον κλάδο της τεχνητής νοημοσύνης και του δόθηκε η ονομασία switchyard. Με την πάροδο των χρόνων εξελίχθηκε στην σημερινή του μορφή (Mataric, 2010).

Η βασική δομή της αρχιτεκτονικής του συστήματος ROS στηρίζεται σε κόμβους ενώ ορισμένες από τις βασικότερες δραστηριότητες του συγκεκριμένου συστήματος είναι οι εξής (Εμίρης & Κουλουριώτης, 2006):

- Η άμεση επικοινωνία ανάμεσα σε πακέτα πληροφοριών και τις λειτουργίες.
- Η διαδικασία ελέγχου των συσκευών οι οποίες συνοδεύονται από μειωμένο επίπεδο.
- Η ταύτιση των πιο βασικών λειτουργιών του συστήματος.

Πολύ σημαντικό στοιχείο της δομής του ROS αποτελεί το σύστημα UNIX. Το συγκεκριμένο σύστημα απαρτίζεται από δύο (2) βασικά τμήματα (Abd El – Geliel & El – Khazendar, 2003):

- Το τμήμα ROS: Παρέχει εξελιγμένες δραστηριότητες σε διαφορετικής φύσεως ρομποτικά περιβάλλοντα.
- Το τμήμα ROS – PKG: Απαρτίζεται από ένα μεγάλο πλήθος δραστηριοτήτων οι οποίες ομαδοποιούνται από χρήστες του συγκεκριμένου λογισμικού.

Έτσι, συνοπτικά οι λειτουργίες τις οποίες μπορεί να εκτελέσει το σύστημα Robot operation είναι οι ακόλουθες (Zenke, 2009):

- Ο σχηματισμός βασικού κόμβου.
- Η αποκοπή κόμβων.
- Η απεικόνιση σύνθετων πληροφοριών.
- Η ορθή κατανομή των κόμβων.



- Η αποθήκευση του ιστορικού δραστηριοτήτων.
- Η δημιουργία αλληλουχίας δεδομένων.
- Οι δοκιμαστικές περίοδοι των νέων συστημάτων.
- Η εξυπηρέτηση των διακομιστών.

Επίσης, οι τομείς στους οποίους πραγματοποιεί έργο το σύστημα ROS είναι οι εξής (Quigley et al., 2009):

- Ο τομέας της αντίληψης.
- Ο τομέας της αντιληπτικής ικανότητας μέσω κάμερας.
- Ο τομέας της σχεδίασης.
- Ο τομέας του ελέγχου.
- Ο τομέας της αυτοκίνησης.
- Ο τομέας εντοπισμού προσώπου.
- Ο τομέας του εντοπισμού των πληροφοριών – δεδομένων.
- Ο τομέας διαχωρισμού των εκάστοτε δεδομένων.
- Ο τομέας εντοπισμού κινήσεων που διατελούνται με τα χέρια.
- Ο τομέας των ρομπότ που παρέχουν κίνηση.

Τέλος σύμφωνα με τους Quigley et al. (2009), τα λογισμικά αυτού του είδους έχουν εντοπισθεί στα ακόλουθες ρομποτικές κατασκευές:

- Στο Husky 200.
- Στο Stair I.
- Στο Stair II.
- Στο PR2.
- Στο PR1.
- Στο Beagleboard.
- Στο Herb.

#### **1.4.4 Η διαστημική προσομοίωση**

Ένας ακόμα μη κατάλληλος τύπος ρομποτικής προσομοίωσης όσον αναφορά την εκπαιδευτική διαδικασία είναι η διαστημική προσομοίωση.

Η διαστημική προσομοίωση εφαρμόζεται αποκλειστικά και μόνο από την NASA, διότι ασχολείται άμεσα και έμμεσα με το διάστημα στο οποίο πρέπει συχνά να υλοποιεί προσομοιώσεις που περιέχουν ρεαλιστικά στοιχεία.

Ο διαστημικός προσομοιωτής εμπεριέχει στο εσωτερικό του στοιχεία εξαχθέντα από ρεαλιστικές καταστάσεις του πραγματικού κόσμου. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής εφαρμόζεται από άτομα τα οποία ασχολούνται με το διάστημα (όπως για παράδειγμα αστροναύτες) με μεγάλη επιτυχία χρήσης. Βέβαια και αυτό το είδος προσομοίωσης δεν θεωρείται ιδιαίτερα εξελιγμένο σε σχέση με την πραγματικότητα καθώς και την τεχνολογία του συγκεκριμένου κλάδου (Βούκαλης & Βούκαλη, 2006).

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης

### 2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν οι σημαντικότερες πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης οι οποίες παρέχουν τις σημαντικές λειτουργίες τους, στην σημερινή εποχή. Αυτές οι πλατφόρμες που θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Anycode marilou.
- ✓ Webots.
- ✓ Player project.
- ✓ Microsoft robotics development studio.
- ✓ Openrave.
- ✓ Dialogos.
- ✓ Ni Labview robotics module.
- ✓ Simbad.
- ✓ Camelot ropsim.
- ✓ Carmen toolcift.

### 2.2 Anycode marilou

Η πλατφόρμα AnyCode Marilou αποτελεί ένα ρομποτικό προσομοιωτή εκπαιδευτικού χαρακτήρα το οποίο έχει εφαρμογή σε ρομπότ που διατελούν κινήσεις, σε αρθρωτούς βραχίονες και σε ανθρωποειδή ρομπότ που δραστηριοποιούνται εντός πραγματικού περιβάλλοντος με ότι αυτό φυσικά συνεπάγεται (Harris & Canrad, 2011).

Όσον αφορά τις χρήσεις του Anycode marilou βρίσκουν εφαρμογή στους παρακάτω τομείς (Harris & Canrad, 2011):

- Ø Στον βιομηχανικό κλάδο.
- Ø Στον χώρο της εκπαίδευσης.
- Ø Στον χώρο της έρευνας και καινοτομίας.

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα, περιλαμβάνει (εξαιτίας των πραγματικών συνθηκών που λαμβάνουν χώρα) την λεγόμενη βιβλιοθήκη πραγματικού χρόνου η οποία στην προκειμένη περίπτωση είναι είτε η ODE (Open Dynamics Engine) είτε το WEBOTS. Αυτές προσδίδουν στην πλατφόρμα την δυνατότητα του εντοπισμού τυχόν προσκρούσεων καθώς και καθιστούν την πλατφόρμα εύκολη διαχειρίσιμη στις αλλαγές που πραγματοποιούνται. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει η δυνατότητα, κατευθείαν να εφαρμοστούν σε πραγματικό χρόνο οι φυσικοί παράμετροι της δύναμης και της ροπής στο εκάστοτε μοντέλο (Yang & Choi, 2013).

Επιπλέον, το anykode marilou, εφαρμόζει τα λεγόμενα «entities» τα οποία αποτελούν δεδομένα που βρίσκονται εντός ενός περιβάλλοντος προσομοίωσης καθώς και τα «scenes» που είναι δεδομένα παρόμοιων περιβάλλοντος. Ο δημιουργός των λεγόμενων entities, δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης διαφόρων ρομποτικών μοντέλων συγκρούσεων, τοποθετώντας στην πλατφόρμα πράγματα τα οποία προέρχονται από τον αληθινό κόσμο, όποιας κατηγορίας και αν είναι αυτά (δυναμικά ή στατικά). Σε γενικές γραμμές, έχει παρατηρηθεί ότι μεταξύ του Anykode Marilou και του προγράμματος CAD, υπάρχουν πολυάριθμες ομοιότητες καθώς και ότι αυτά τα δύο προγράμματα δραστηριοποιούνται σε γραφικό περιβάλλον εύκολο προς τους εκάστοτε χρήστες (Yang & Choi, 2013).

Ο συγκεκριμένος ρομποτικός προσομοιωτής απαρτίζεται και από ένα σύνθετο και πολύ ανεπτυγμένο μενού λειτουργιών. Έτσι μέσω αυτού έχει την δυνατότητα να μεταβάλλει γρήγορα τις ιδιότητες καθώς και τα χαρακτηριστικά του ρομπότ που προσομοιώνει καθώς και των scenes αλλά και των dynamics. Επιπροσθέτως, ο δημιουργός, παρέχει την επιπλέον δυνατότητα της χρήσης εκ νέου των entities φυσικών ιδιοτήτων αλλά και την εφαρμογή μοντέλων 3D (Alonso et al., 2011).

Το Anykode Marilou λειτουργεί έχοντας ως βάση ένα απλό σύστημα ιεραρχικής δομής συνολικών αντικειμένων, βέβαια, σε πολύ υψηλό επίπεδο. Σε αυτό το σύστημά του οφείλει και το χαρακτηριστικό την επανάληψη κάποιων επιμέρους στοιχείου ενός μοντέλου στην δημιουργία κάποιου άλλου ως νέο στοιχείο (Alonso et al., 2011).

Το συγκεκριμένο λειτουργικό περιλαμβάνει ένα σύνολο εικονικών εξαρτημάτων στα οποία ο εκάστοτε χρήστης έχει πλήρη πρόσβαση και διαχείριση. Η λειτουργία των εξαρτημάτων αυτών, έχει την δυνατότητα αναθεώρησης μέσα από το πλαίσιο της σύγχρονης ρομποτικής και των εξελίξεων που πραγματοποιούνται στον κλάδο. Το συγκεκριμένο γνώρισμα είναι αυτό το στοιχείο το οποίο δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να εφαρμόζει διάφορες παραμέτρους κάποιας οικείας σε αυτόν συσκευή (Harris & Conrad, 2011). Τα εξαρτήματα τα οποία έχει την δυνατότητα να υποστηρίξει το λειτουργικό του Anykode Marilou είναι τα παρακάτω (Yang & Choi, 2013):

- Οι κάμερες.
- Η πυξίδα.
- Τα γυροσκόπια.
- Τα προσαρτημένα εξαρτήματα ρομποτικού τύπου.
- Τα όργανα αισθητήριας απόστασης.
- Οι πομποί.
- Οι δέκτες.
- Τα όργανα gps.
- Τα αισθητήρια όργανα εύρους laser.
- Τα όργανα αφής.
- Τα οδόμετρα.
- Οι οθόνες τύπου Lcd.
- Τα Led.
- Οι κινητήρες.
- Τα αισθητήρια όργανα που έχουν σχέση με την ροπή αλλά και την δύναμη κάποιου αντικειμένου.
- Τα lidar.
- Οι διάφορες πηγές φωτός.
- Οι προφυλακτικές.
- Οι από αέρος δυνάμεις πίεσης.
- Τα επιταχυντόμετρα.

Με σκοπό την ορθή διαχείριση τους συστήματος των ρομπότ τα οποία προσομοιώνονται μέσω της πλατφόρμας Anykode Marilou, αυτό εφαρμόζει το πρόγραμμα MODA (Marilou Open Devices Access) ή σε πολλές περιπτώσεις ένα

πρόγραμμα SDK γενικού περιεχομένου, το οποίο σύμφωνα με την γλώσσα προγραμματισμού που έχει επιλεγεί στο ρομπότ, παρέχει αντίστοιχες βιβλιοθήκες που απαρτίζονται από σχετικά με αυτό στοιχεία και δεδομένα (Harris & Conrad, 2011).

Ένας εξυπηρετητής τύπου MODA, έχει την δυνατότητα να ενταχθεί με φυσιολογικό τρόπο σε μία συσκευή ρομπότ, πραγματική, πέρα από το περιβάλλον της προσομοίωσης (Alonso et al., 2011).

Ο ρομποτικός προσομοιωτής Anykode Marilou λειτουργεί σε περιβάλλοντα που δημιουργούνται με τις εξής παρακάτω γλώσσες προγραμματισμού (Alonso et al., 2011):

- Γλώσσες: C/C++, C++ CLI, C#, J#, VB#.
- Compilers: Microsoft Visual Studio suites, DevC++, Borland C++ RAD Studio, G++ για Linux, CodeBlocks.
- Παρέχει πλήρη συμβατότητα με το γνωστό Linux.

Τέλος, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των χρήσεων που παρέχει το μοντέλο Anykode Marilou παρατίθενται παρακάτω (Alonso et al., 2011):

- Ο εξειδικευμένος φωτισμός όσον αναφορά τις σκιές αλλά και τα είδη αυτού που μπορεί να παρέχει.
- Τα διάφορα εργαλεία τα οποία είναι κατάλληλα για την διαδικασία μοντελοποίησης.
- Τα εργαλεία τα οποία είναι υπεύθυνα για την αλλαγή και την τροποποίηση κάποιου κώδικα.
- Οι περιορισμοί μηχανικού χαρακτήρα.
- Οι παρεχόμενες ιδιότητες όσον αναφορά την επιφάνεια εισαγωγής του ρομποτικού προσομοιωτή.
- Οι ιεραρχικές δομές για την σύσταση κάποιου μοντέλου.
- Η ανάπτυξη των πολυρομποτικών μοντέλων.
- Η σύνδεση με άλλες μορφές προσομοίωσης που εκτελούνται σε ταυτόχρονο χρόνο.
- Η συνολική γραφική διαχείριση και λειτουργία των μοντέλων – ρομπότ.
- Οι περιορισμοί στους κατάλληλους άξονες.

- ü Η καταγραφή και η δημιουργία χρονικών κύκλων.
- ü Η βέλτιστη δυνατή ποιότητα απεικόνισης 3D.
- ü Οι αληθινοί χρόνοι στην εκτέλεση των προσομοιώσεων.

## 2.3 Webots

Το Webots αποτελεί μία σύγχρονη πλατφόρμα ρομποτικής προσομοίωσης η οποία ανακαλύφθηκε το έτος 1966 για πρώτη φορά. Η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει, κυρίως, εκπαιδευτικό σκοπό και χαρακτήρα, ενώ περιλαμβάνει την βιβλιοθήκη ODE (Open Dynamics Engine) έτσι ώστε να της παρέχεται η δυνατότητα του εντοπισμού τυχόν επαφών μεταξύ των μοντέλων καθώς και για να προσομοιώνει με στοιχεία ακριβείας το συνολικό αριθμό των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, όσον αφορά τα φυσικά τους χαρακτηριστικά για τα αντικείμενα που εισέρχονται στην πλατφόρμα (Olivier, 2004).

Το webots μπορεί να ανταπεξέλθει στην χρήση και την λειτουργία πολλών ειδών ρομποτικών κατασκευών σε περιβάλλον προσομοίωσης τα οποία, συνήθως, έχουν αλλαχθεί όσον αφορά το αρχικό τους προγραμματισμό, ενώ παράλληλα η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει την δυνατότητα να κατασκευάσει ένα νέο ρομποτικό μοντέλο εκ νέου. Κατά την χρονική φάση της δημιουργία ενός ρομποτικού μοντέλου, ο κάθε χρήστης πρέπει να προκαθορίσει με ακρίβεια και τα γραφικά χαρακτηριστικά των αντικειμένων εκείνων που λαμβάνουν μέρος στην διαδικασία αυτή (Olivier, 1998).

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι με τον όρο γραφικά χαρακτηριστικά, αναφερόμαστε στον προκαθορισμό της θέσης αλλά και των διαστάσεων των αντικειμένων αυτών ενώ αντίθετα με τον όρο φυσικά χαρακτηριστικά, νοούνται τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κάθε αντικειμένου αλλά και οι φυσικές δυνάμεις από τις οποίες κατ' επέκταση διέπεται (Yuri & Olivier, 1998).

Τα πιο βασικά είδη ρομποτικών κατασκευών τα οποία είναι σε θέση να υποστηρίξει το webots και να τα προσομοιώσει με άριστο τρόπο είναι τα εξής (Olivier, 2004):

- ü To AIBO ERS7 and ERS210.
- ü To Sony Corporation.
- Ø To Bioloids Robotis.
- Ø To Boe – Bot.
- Ø To DARwIn-OP, Robotis.
- Ø To E-puck.
- Ø To Hemisson.
- Ø To HOAP-2, Fujitsu Limited.
- Ø To iCub, RobotCub Consortium.
- Ø To iRobot Create, iRobot.
- Ø To Katana IPR, Neuronics AG.
- Ø To Khepera mobile robot I, II, III, K-Team Corporation.
- Ø To KHR-2HV, KHR-3HV, Kondo.
- Ø To Koala, K-Team Corporation.
- Ø To Lego Mindstorms (RCX Rover model).
- Ø To Magellan Nao V2, V3, Aldebaran Robotics.
- Ø To MobileRobots Inc Pioneer 2.
- Ø To Puma 560, Unimate.
- Ø To Scout 2.
- Ø To Shrimp III, BlueBotics SA.
- Ø To Surveyor SRV-1, Surveyor Corporation.
- Ø To youBot, KUKA.

Επίσης, οι γλώσσες προγραμματισμού οι οποίες χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να κατασκευαστούν σε αυτήν την περίπτωση ρομποτικά μοντέλα και εν συνεχεία να προσομοιωθούν είναι οι ακόλουθες (Olivier, 2004):

- ü Η Java.
- ü Η C.
- ü Η C ++
- ü Η Python.
- ü Η Matlab.
- ü To AIBO / URBI.
- ü To E- Puck / URBI.
- ü To NAO / URBI.



Η διαδικασία αποθήκευσης και διατήρησης των εξαχθέντων αποτελεσμάτων και δεδομένων από την πλατφόρμα Webots, αποτελεί μία εύκολη σχετικά διαδικασία. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα που ο χρήστης επιθυμεί να αποθηκεύσει (είτε αυτά είναι εικόνες είτε όχι) παραλαμβάνονται στην cross – platform υπό την μορφή wbt αρχείου το οποίο ρυθμίζεται βάση της γλώσσας προγραμματισμού VRML (Olivier, 2004).

Τέλος, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του webots, αυτό παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να ελεγχτεί και να έρχεται σε ευθεία επικοινωνία με την διαδικασία προσομοίωσης ακριβώς την χρονική στιγμή όπου διατελείτε αυτή (Yuri & Olivier, 1998).

Οι βασικότεροι τομείς στους οποίους χρησιμοποιείται και αναπτύσσει το ευρύ φάσμα των λειτουργιών του το webots είναι οι παρακάτω (Olivier, 2004):

- Η δημιουργία πρότυπων ρομποτικών κατασκευών με την παρουσία τόσο κάτω άκρων όσο και ρόδων.
- Η διαδικασία διερεύνησης με την μορφή έρευνας ρομποτικών μετακινήσεων.
- Οι πολυρομποτικές προσομοιώσεις.
- Ο τομέας εξέλιξης της ρομποτικής επιστήμης.
- Τα πειραματικά μοντέλα προσομοίωσης.
- Η διερεύνηση ρομποτικής συμπεριφοράς σε περιβάλλον προσομοίωσης.

Το συστήματα webots εφαρμόζονται και σε πολυάριθμους διαγωνισμούς ρομποτικής που πραγματοποιούνται στο χώρο του διαδικτύου και μάλιστα κατέχουν εξέχουσα θέση στην διαδικασία αυτή.

## **2.4 Player project**

Η πλατφόρμα Player Project αποτελεί ένα ελεύθερης πρόσβασης εργαλείο υποστήριξης ρομποτικών κατασκευών και διαφόρων αισθητήριων συστημάτων. Αποτελείται από τρία (3) έργα σύγχρονης ρομποτικής τα οποία αναφέρονται παρακάτω (Weinberg & Driscoll, 2007):

- Ένα περιβάλλον δύο διαστάσεων ρομποτικής προσομοίωσης, που ονομάζεται Stage.
- Ένας δικτυακού τύπου ρομποτικός εξυπηρετητής, που καλείται ως Player.
- Ένα περιβάλλον τριών (3) διαστάσεων ρομποτικής προσομοίωσης, που καλείται ως Gazebo.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο λογισμικό είναι ελεύθερο προς χρήση διαμέσου της GPL ή αλλιώς γνωστό ως General Public License.

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποίησαν οι Weinber & Driscoll (2007), η πλατφόρμα Player Project, θεωρείται η πιο γνωστή open - source interfaces, τα οποία εφαρμόζονται στους τομείς της εκπαίδευσης και φυσικά της έρευνας.

Στην συνέχεια της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναλύονται τα τρία (3) έργα σύγχρονης ρομποτικής από τα οποία απαρτίζεται το player project.

### STAGE

Το πρώτο έργο σύγχρονης ρομποτικής που περιέχει η πλατφόρμα Player Project, είναι το Stage. Αποτελεί ένα δυσδιάστατο περιβάλλον προσομοίωσης το οποίο έχει ως βασικό πυλώνα της, το Fast Light Toolkit (F.L.T.K.). Το stage έχει την δυνατότητα να αναπτύσσει τα βασικά συστατικά μέρη της προσομοίωσης για πολυάριθμες ρομποτικές κατασκευές. Επιπλέον, το stage, εφαρμόζεται, με σκοπό να προσομοιώσει σε δυσδιάστατο περιβάλλον πολλές ρομποτικές συμπεριφορές διαμέσου κατάλληλων και σύγχρονων προγραμμάτων που το επιτρέπουν. Τέλος, κλείνοντας πρέπει να αναφερθεί ότι έχει την δυνατότητα της άμεσης σύνδεσης και αλληλεξάρτησης με τα interfaces της πλατφόρμας Player project (Vaughan & Gerkey, 2007).

### PLAYER

Το συγκεκριμένο λογισμικό, δραστηριοποιείται σε συστήματα που λειτουργούν μέσω Portable Operating System Interface for Unix (POSIX). Τα πιο γνωστά POSIX είναι τα Windows, το Linux, το MacOS και το Solaris. Επιπλέον, το Player, ανταποκρίνεται επαρκώς, σε πολλά hardware και παράλληλα στο συγκεκριμένο λογισμικό εντοπίζονται βιβλιοθήκες δεδομένων και πληροφοριών που συνήθως παρουσιάζουν

γλώσσες προγραμματισμού όπως είναι η C ή η C ++ ή και η Ruby. Τέλος, το player παρέχει την δυνατότητα υποστήριξης σε interfacing (Vaughan & Gerkey, 2007).

### GAZEBO

Το λογισμικό Gazebo αποτελεί ένα τρισδιάστατου χαρακτήρα ρομποτικό περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο είναι δημιουργημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζεται από Object Oriented Graphics Rendering Engine (OGRE). Και στην περίπτωση αυτού του λογισμικού, έχει την δυνατότητα να εφαρμόζεται διαμέσου του Player server (Hoa et al., 2004).

Τα πιο γνωστά ρομπότ τα οποία έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει με ορθό τρόπο το Gazebo είναι τα ακόλουθα (Hoa et al., 2004):

- Ø To White Box Robotics' 914 PC-BOT.
- Ø To iRobot's Roomba vacuuming robot.
- Ø To Acroname's Garcia.
- Ø To K-Team's Robotics Extension Board attached to Kameleon 376BC.
- Ø To Segway's Robotic Mobility Platform (RMP).
- Ø To Videre Design's ERRATIC mobile robot platform.
- Ø To CoroWare Inc. Corobot and Explorer.
- Ø To MobileRobots' (formerly ActivMedia) PSOS/P2OS/AROS-based robots.
- Ø To UPenn GRASP's Clodbuster.
- Ø To K - Team's Khepera.
- Ø To Evolution Robotics' ER1 and ERSDK robots.
- Ø To Botrics's Obot d100.
- Ø To RWI/iRobot's RFLEX-based robots.
- Ø To Nomadics' NOMAD200 mobile robots.

## 2.5 Microsoft robotics developer studio

Το Microsoft Robotics Developer Studio ή αλλιώς σε συντομογραφία MRDS, αποτελεί έναν ρομποτικό προσομοιωτή που είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο, εντός κάποιου περιβάλλοντος το οποίο έχει ως κύριο άξονα του, το περιβάλλον λειτουργίας των Windows και αφορά, κατά κύριο λόγο, χώρους εκπαίδευσης και εμπορικές δραστηριότητες, που έχουν σχέση με ρομποτικές κατασκευές (Kyle & Trevor, 2009).

Το Microsoft Robotics Developer Studio, βασίζεται στο CCR. Αυτό συντελεί μία βιβλιοθήκη που εκτελεί ταυτόχρονους κώδικες, οι οποίοι ελέγχουν δραστηριότητες μεγάλου αριθμού που δεν ταυτίζονται. Η συγκεκριμένη μέθοδος, πραγματοποιείται μέσω της εφαρμογής του DSS το οποίο επικεντρώνεται στην τελική διεξαγωγή των εύκολων διεργασιών με σκοπό την ανάπτυξη πολλών παρεμφερών προγραμμάτων για την ικανοποίηση των απαιτούμενων συμπεριφορών (Kyle & Trevor, 2009).

Η πιο σημαντική ιδιότητα του Microsoft Robotics Developer Studio, είναι η εφαρμογή της Microsoft Visual Programming Language (VPL), η οποία αποτελεί ένα βασικό στοιχείο εικονικού προγραμματισμού, με στόχο την ανάπτυξη καθώς και τον έλεγχο σφαλμάτων πολλών ρομποτικών εφαρμογών, interfaces, τρισδιάστατων προσομοιώσεων και απλής πρόσβασης εντός της κάθε ρομποτικής κατασκευής. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι ως γλώσσα προγραμματισμού σε αυτό ορίζεται η C# (Jackson, 2007).

Επιπλέον, το MRDS εντάσσει στις λειτουργίες του πολλά πακέτα τα οποία διοχετεύουν σύνθετες εφαρμογές της σουίτας. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές από αυτές είναι οι εξής (Kyle & Trevor, 2009):

- Το soccer simulation.
- Το sumo competition της Microsoft.
- Το maze simulator.

Τα βασικά στοιχεία για την δημιουργία μίας πλατφόρμας MRDS είναι τα παρακάτω (Jackson, 2007):

- Το γραφικό περιβάλλον (VPL).
- Η γραμμή εργαλείων που περιλαμβάνει το σύνολο όλων των εντολών.

Το γραφικό περιβάλλον (VPL) συνιστά ένα γραφικό περιβάλλον δημιουργίας που εφαρμόζει λίστες Services και activities. Τα χαρακτηριστικά αυτού είναι (Kyle & Trevor, 2009):

- Παρουσιάζει γραφική σύνδεση μέσω της οποίας μία δραστηριότητα απεικονίζεται από ένα σύνολο που διαθέτει κάποιες εξόδους και εισόδους που κατά περίπτωση μεταφέρονται από λίστες στο συνολικό διάγραμμα εργασιών.
- Η αλληλοσύνδεση που εντοπίζεται ανάμεσα τους, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια του ποντικιού και επιτρέπει την εισδοχή στον σύστημα ορισμένων χαρακτηριστικών σημάτων.
- Παρέχεται η δυνατότητα ανάπτυξης νέου κώδικα κατάλληλου για ένα πλήθος υπηρεσιών.
- Αλλάζει τις υπηρεσίες που λαμβάνουν χώρα μέχρι στιγμής.

Όσον αναφορά το τρισδιάστατο περιβάλλον του Microsoft robotics developer studio, δίνει την δυνατότητα της προσομοίωσης των διαφόρων συμπεριφορών των ρομποτικών κατασκευών με την τεχνολογία PhysX της Nvidia (Jackson, 2007).

Τα πιο γνωστά περιβάλλοντα εντός των οποίων διατελούνται προσομοιώσεις στο Microsoft robotics developer studio είναι τα ακόλουθα (Kyle & Trevor, 2009):

- Το Apartment.
- Το Urban.
- Το Modern House.
- Το Factory.
- Το Outdoor.

Επιπλέον, οι βασικές χρήσεις του Microsoft robotics developer studio (MRDS) αναφέρονται πιο κάτω (Kyle & Trevor, 2009):

- Η ανάμιξη του Princeton University στο γνωστό διαγωνισμό Darba Urban Grand Challenge που είχε κατασκευαστεί με την βοήθεια του MRDS.
- Η επίσημη ιστοσελίδα MySpace, η οποία για τους σκοπούς του προγραμματισμού της, έχει την βοήθεια των βιβλιοθηκών CCR και DSS, που έχουν ως αντικείμενο τις κατασκευές που δεν περιέχουν ρομποτικά στοιχεία.
- Το Indiana University εφαρμόζει το MRDS, για την ορθή και άμεση διαχείριση τω δικτύων της.

Τέλος, το Microsoft robotics developer studio (MRDS), μπορεί να λειτουργήσει στα ακόλουθα μοντέλα ρομποτικών κατασκευών με ορθό τρόπο (Jackson, 2007):

- Ø To Parallax Boe – Bot.
- Ø To Adept MobileRobots Pioneers.
- Ø To iRobot Create.
- Ø To Parallax Scribbler.
- Ø To CoroWare CoroBot and Explorer    Lego Mindstorms NXT Official Website.
- Ø To Fischertechnik FT16.
- Ø To ABB Group Robotics - ABB Connect for Microsoft Robotics Developer Studio.
- Ø To Parallax Eddie robot.
- Ø To Kuka Robotics Educational Framework.
- Ø To Kondo Khr – 1.
- Ø To Segway Rmp.
- Ø To ArieH Robotics Project Junior.
- Ø To Surveyor SRV – 1.
- Ø To Robotino.
- Ø To WowWee RoboSapien.
- Ø To Vex Robotics Design System.
- Ø To CNRobot Co. Ltd.
- Ø To Robotics Connection Traxster.
- Ø To uBot - 5 University of Massachusetts Amherst.
- Ø To Robosoft's robots.
- Ø To Roomba Dev Tools by RoboDynamics.
- Ø To ZMP INC. e - nuvo.

## 2.6 Openrave

Η πλατφόρμα openrave είναι γνωστή και ως Open Robotics Automation Virtual Environment και συνιστά ένα περιβάλλον σχεδίασης, χρήσης και δοκιμής αλγόριθμων που περιέχουν κινητικά στοιχεία σε ρεαλιστικές ρομποτικές κατασκευές. Η βασική εφαρμογή του λαμβάνει χώρα στην δραστηριότητα προσομοίωσης αλλά και λεπτομερούς ανάλυσης, γεωμετρικού και κινητικού χαρακτήρα δεδομένων, τα οποία αποτελούν πληροφορίες έτσι ώστε να επιτευχθεί η δημιουργία μίας οποιαδήποτε κίνησης (Diankon, 2010).

Η συγκεκριμένη πλατφόρμα, δίνει την δυνατότητα άμεσης εγκαθίδρυσης του σε ρομποτικές κατασκευές που ήδη πραγματοποιούν δραστηριότητα όπως επίσης παρέχει ποικίλα εργαλεία εκτέλεσης μέσω της αντίστοιχης γραμμής εντολών, με σκοπό οι ρομποτικές κατασκευές να είναι εύκολες στην χρήση διαμέσου των μικρού μεγέθους ελεγκτών (Diankon, 2012).

Χαρακτηριστικό στοιχείο του Openrave, συνιστά το IKFAST, το οποίο αποτελεί το πιο σύγχρονο εργαλείο που μεταφράζει τα όποια στοιχεία της ρομποτικής κατασκευής σε στοιχεία κίνησης αυτού. Το IKFAST έχει την δυνατότητα να αναλύει διάφορες κινητικού περιεχομένου συναρτήσεις, ανεξαρτήτως της πολυπλοκότητας και της δυσκολίας αυτών. Επίσης, δημιουργεί αρχεία και πληροφορίες σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού έτσι ώστε τα στοιχεία αυτά να μπορούν να εφαρμοστούν στο μέλλον ως βάση για έτερες έρευνες. Όλες οι παραπάνω λειτουργίες – κινήσεις, λαμβάνουν χώρα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και για την ακρίβεια εντός ολίγων δευτερολέπτων (Diankon, 2012).

Τα στοιχεία τα οποία έχει την δυνατότητα να αποθηκεύσει για μελλοντική χρήση το openrave είναι τα εξής (Diankon, 2012):

- Οι βραχίονες.
- Τα αισθητήρια.
- Οι εξειδικευμένοι παράμετροι δημιουργίας και εξέλιξης.

Ο βασικός πυλώνας δημιουργία στην συγκεκριμένη πλατφόρμα, έχει ως κεντρικό άξονά του, την δυνατότητα interfaces και παρουσιάζει χρήσεις αλγόριθμων όσον

αναφορά την δημιουργία κινητικής λειτουργίας. Ο μεγαλύτερος αριθμός των χρήσεων του αφορούν ρομποτικούς βραχίονες κυρίως σε θέματα έρευνας αυτών. Τέλος, αυξημένο ποσοστό χρήσης του Openrave παρατηρείται στον βιομηχανικό χώρο των ρομποτικών αυτοματισμών (Diankon, 2012).

## **2.7 Dialogos**

Η πλατφόρμα Dialogos αποτελεί ένα σύγχρονο περιβάλλον γραφικού χαρακτήρα που έχει ως βασικό σκοπό του την ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που έρχονται σε επαφή με τον εκάστοτε χρήστη μέσω μίας φωνητικής εντολής που παρεμβάλλεται στην διαδικασία επικοινωνίας. Τα αντίστοιχα «dialogs» αλληλεπιδρούν μεταξύ τους διαμέσου των αντίστοιχων διαγραμμάτων ροής που λαμβάνουν χώρα στην δραστηριότητα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι αυτό το πακέτο δεδομένων διαπερνούν ορισμένες συντομεύσεις ελεγκτικού χαρακτήρα των Lego Minstroms τα οποία έχουν ως χαρακτηριστικό την φωνητική εντολή (Robbert & Wolska, 2007).

Το dialogos εφαρμόζεται κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς, όπως για παράδειγμα η χορήγηση πληροφοριών και γνώσεων εντός των πανεπιστημιακών κύκλων (Robbert & Wolska, 2007).

## **2.8 Ni Labview robotics module**

Το NI labview robotics module αποτελεί έναν ρομποτικό προσομοιωτή σε αντίστοιχες κατασκευές και αφορά, κυρίως, τον έλεγχο αυτών. Αυτή η πλατφόρμα εντάσσεται στο περιβάλλον εξέλιξης του Labview, με σκοπό να διοχετεύει ρομποτικές βιβλιοθήκες σε αυτό έτσι ώστε σε τελικό στάδιο να επιτευχθεί η απαιτούμενη σύνδεση ανάμεσα στα αισθητήρια ρομποτικά εξαρτήματα και στην



συνολική κατασκευή που προσομοιώνεται. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται διαμέσου αλγοριθμικού χαρακτήρα συναρτήσεων (Snarez et al., 2007).

Το Labview robotics αφορά κατά κύριο λόγο μηχανικούς και σχεδιαστές ρομποτικών κατασκευών. Οι παρεχόμενες δυνατότητες που τους προσδίδει παρουσιάζονται παρακάτω (Snarez et al., 2007):

- Οι ρομποτικές κατασκευές που εξυπηρετούν προσωπικές υπηρεσίες στο πλαίσιο των λειτουργιών του.
- Οι ρομποτικές κατασκευές για ιατρικούς σκοπούς και σκοπούς φροντίδας της ανθρώπινης υγείας.
- Τα εκπαιδευτικού χαρακτήρα ρομπότ τα οποία βοηθούν και στον τομέα έρευνας πολλών επιστημονικών κλάδων.
- Τα ανεξάρτητα – αυτόνομα ρομποτικά οχήματα που χρησιμοποιούνται σε κλάδους όπως η γεωργία και η κτηνοτροφία
- Τα ρομπότ που έχουν την δυνατότητα να πετούν.

Τέλος, το NI labview robotics module, δίνει στο χρήστη του την δυνατότητα αυτονομίας και ελέγχου των κινήσεων, με άμεσο αποτέλεσμα η οποιαδήποτε διαδικασία προγραμματισμού να γίνεται εύκολα, ακόμα και από έναν αρχάριο χρήστη αυτής (Snarez et al., 2007).

## **2.9 Simbad**

Το Simbad πλατφόρμα ρομποτικής προσομοίωσης η οποία είναι εύκολο να εντοπισθεί από κάθε χρήστη αφού είναι ελεύθερη όσον αναφορά την πρόσβαση διότι ο χαρακτήρας της είναι κυρίως εκπαιδευτικού χαρακτήρα. Αυτή περιέχει στο εσωτερικό των λειτουργιών της, μία απλή μορφή βάσης δεδομένων και υιοθετεί, πολύ συχνά, αλγοριθμικές συναρτήσεις, στον ρομποτικό κλάδο (Hugues & Bredeche, 2006).

Η πλατφόρμα Simbad, απαρτίζεται από τα παρακάτω επιμέρους τμήματα (Hugues, 2007):

- Το *ricoeeno*: Αποτελεί μία σημαντική βιβλιοθήκη αλγοριθμικών δεδομένων και στοιχείων στην οποία εντάσσονται πολλά γραφήματα, αλγόριθμοι και ποικίλα ακόμα στοιχεία που έχουν άμεση σχέση με τον συγκεκριμένο τομέα.
- Το *simbad*: Είναι το κύριο μέρος της πλατφόρμας. Πιο συγκεκριμένα αποτελεί τον προσομοιωτή ρομποτικού χαρακτήρα ο οποίος έχει την δυνατότητα της διαχείρισης πολλών, εξελιγμένης μορφής, τρισδιάστατων περιβαλλόντων και ταυτόχρονα επιφέρει μία σύνδεση ανάμεσα στην πλατφόρμα και την φυσική επιστήμη, μέσω των νόμων που την διέπουν.
- Το *riconode*: Συνιστά μία βιβλιοθήκη ελεγκτών, η οποία απαρτίζεται αποκλειστικά από γραφήματα που αφορούν την βασική λειτουργία του συστήματος.

Ο κάθε χρήστης του *Simbad*, έχει την δυνατότητα να επιλέξει ο ίδιος το περιβάλλον λειτουργίας που επιθυμεί να χρησιμοποιήσει μέσα από μία μεγάλη λίστα του *Environment Description* που διαθέτει και αντίστοιχα μπορεί να επιλέξει ρομποτικό ελεγκτή μέσα από την λίστα του *Robot*. Επιπλέον, ο ελεγκτής που περιέχει, το σύστημα αυτό, έχει ένα σημείο έναρξης το οποίο ονομάζεται *initBehavior* όπως επίσης και αντίστοιχες καταστάσεις για κάθε βήμα της ρομποτικής προσομοίωσης. Στην συνέχεια, η πλατφόρμα προσομοίωσης, διατελεί τις απαραίτητες εντολές των κινητήρων, σε ρεαλιστικό χρόνο σύμφωνα με τον ελεγκτή (Hugues & Bredeche, 2006).

Ο προσομοιωτής ρομποτικής κατασκευής *Simbad*, εφαρμόζεται κατά κόρον στον εκπαιδευτικό κλάδο της ρομποτικής επιστήμης όπως επίσης και στο ερευνητικό τμήμα αυτής (Hugues & Bredeche, 2006).

Ο *Simbad*, παρέχει στον κάθε χρήστη τις παρακάτω δυνατότητες (Hugues, 2007):

- Η διαδικασία προσομοίωσης των ρομποτικών κατασκευών είτε αυτά είναι πολλά είτε μόνο ένα.
- Η λειτουργία έγχρωμων συσκευών κάμερας.
- Η δυνατότητα της αισθητήριας επαφής με τον χρήστη, ανεξαρτήτως της όποιας απόστασης.
- Η on – line διαδικασία προσομοίωσης.
- Ο προγραμματισμός σε γλώσσες προγραμματισμού όπως είναι η *Jython* και η *Python*.

- Ø Η επικοινωνία μέσω του συστήματος με άλλους χρήστες της πλατφόρμας.
- Ø Το απλό περιβάλλον λειτουργίας της πλατφόρμας το οποίο είναι προσανατολισμένο στις απαιτήσεις του κάθε χρήστη.

## **2.10 Camelot Ropsim**

Η πλατφόρμα ρομποτικής προσομοίωσης Camelot Ropsim, πήρε το όνομα της από την εταιρία που την ανακάλυψε (Camelot) και από την κύρια ονομασία που δόθηκε στο μοντέλο αυτό (Ropsim). Η συγκεκριμένη πλατφόρμα έχει ως κύριο σκοπό της την προσομοίωση συνολικών μοντέλων ρομποτικού χαρακτήρα. Αυτή αποτελεί μια suite προσομοίωσης μοντέλων ρομπότ, που διαθέτει ως βασικό πυλώνα της, την εφαρμογή ηλεκτρονικού υπολογιστή και έχει την δυνατότητα να λειτουργεί εντός ενός τρισδιάστατου υπολογιστικού περιβάλλοντος εικονικού περιεχομένου. Επιπλέον, μέσω του εικονικού περιβάλλοντος λειτουργίας της, μπορεί να οπτικοποιεί όλη τη γραμμή παραγωγής της ρομποτικής κατασκευής σε όλα τα στάδια αυτής (Rapsim, 2012).

Έχοντας ως δεδομένο την τρισδιάστατη παρακολούθηση της διαδικασίας προσομοίωσης σε ρεαλιστικό χρόνο, παρέχεται η δυνατότητα έρευνας πάνω στο αναπτυσσόμενο μοντέλο και η επιπλέον διερεύνηση του θέματος που ενδιαφέρει την δεδομένη χρονική στιγμή τον εκάστοτε χρήστη της πλατφόρμας (Rapsim, 2012).

## **2.11 Carmen Toolkit**

Το Carmen toolkit ή αλλιώς γνωστό και ως Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit, αποτελεί έναν πολύ γνωστό προσομοιωτή ρομποτικών κατασκευών ο οποίος συνοδεύεται από αντίστοιχο λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έχει ως βασικό στόχο του τον έλεγχο της ασφάλειας όλων των επιμέρους ρομποτικών συσκευών οι οποίες

μεταφέρονται και εντάσσονται σε ένα συνολικό ρομποτικό σύστημα. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής, αναπτύχθηκε ως τμήμα λογισμικού που ως αρχικό σκοπό είχε την δραστηριότητα της απαραίτητης και βασικής λειτουργίας που αφορούσε το κομμάτι της πλοήγησης της συσκευής (Carmen, 2012).

Όσον αναφορά τις ρομποτικές κατασκευές, ο προσομοιωτής Carmen Toolkit, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιεί λειτουργία στις παρακάτω κατασκευές ρομποτικού σκοπού (Carmen, 2012):

- Ø Το Nomadic Technologies Scout.
- Ø Το iRobot ATRV.
- Ø Το ActivMedia Pioneer II.
- Ø Το ActivMedia Pioneer I.
- Ø Το Segway.
- Ø Το iRobot B21R.
- Ø Το Nomadic Technologies XR4000.
- Ø Το iRobot.
- Ø Το OrcBoard.

Τέλος, το Carmen Toolkit, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα ακόλουθα μοντέλα αισθητήρων (Carmen, 2012):

- Ø Το Sonar.
- Ø Τις συσκευές GPS οι οποίες ακολουθούν το πρωτόκολλο NMEA.
- Ø Το Sick Pls laser scanner το οποίο είναι κατάλληλο για μέτρηση αποστάσεων.
- Ø Το Hokuyo IR.
- Ø Το Sick Lms laser σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται για όλες τις μετρήσεις.

## **Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> : Τα πιο γνωστά ρομπότ εκπαιδευτικού χαρακτήρα**

### **3.1 Εισαγωγή**

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλυθούν οι σημαντικότερες ρομποτικές κατασκευές οι οποίες κυκλοφορούν αυτήν την στιγμή στην αγορά και έχουν ως βασικό σκοπό τους είτε την εκπαιδευτική διαδικασία είτε την εμπορική χρήση. Όλες οι ρομποτικές κατασκευές απαρτίζονται από πλήθος επιμέρους κομματιών τα οποία θα αναλυθούν ως προς την συνεισφορά τους στο συνολικό σύστημα στην συνέχεια του έγγραφου.

### **3.2 Η περίπτωση Roborplus Bioloid**

Η ρομποτική κατασκευή Roborplus Bioloid, στοχεύει κατά βάση στην εκπαιδευτική διαδικασία των χρηστών της και ανακαλύφθηκε από την γνωστή εταιρία στον ρομποτικό κλάδο Robotis (Ayala & Yujian, 2017).

Ο συγκεκριμένος ρομποτικός μηχανισμός, απαρτίζεται τόσο από κύρια δεδομένα όσο και από επιμέρους, μικρού μεγέθους βέβαια, σερβομηχανισμούς οι οποίοι καλούνται ως AX-12 Dynamixel οι οποίοι εφαρμόζονται σε κυκλική διάταξη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ανάπτυξη ποικίλων ρομπότ ανθρωποειδούς χαρακτήρα και δομής (Ayala & Yujian, 2017).

Η περίπτωση του Roborplus Bioloid, μπαίνει σε λειτουργία με την βοήθεια της Roborplus η οποία αποτελεί μία απλή γλώσσα προγραμματισμού που έχει ως βασικό πυλώνα της, την προγραμματιστική γλώσσα C (Ayala & Yujian, 2017).

Την δεδομένη χρονική στιγμή, διαθέσιμα στην παγκόσμια αγορά υπάρχουν τέσσερις (4) τύπου Roborplus Bioloid (Thai & Paulishen, 2011):

- Το Bioloid gp Kit, το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για συμμετοχές σε διαγωνισμού ρομποτικού χαρακτήρα.
- Το Bioloid expertkKit, το οποίο παρουσιάζεται και χρησιμοποιείται τις περισσότερες φορές σε τομείς ρομποτικής έρευνας και εκμάθησης των λειτουργιών του.
- Το Bioloid beginner kit, το οποίο απαρτίζεται από μικρού μεγέθους και ποικιλίας επιμέρους κομματιών κατάλληλα προς την κατασκευή ρομποτικών κατασκευών ποικίλας φύσης (14 τύποι ρομπότ).
- Το Bioloid comprehensive kit το οποίο απαρτίζεται από μικρού μεγέθους και ποικιλίας επιμέρους κομματιών κατάλληλα προς την κατασκευή ρομποτικών κατασκευών ποικίλας φύσης (26 τύποι ρομπότ).
- Το Bioloid premium kit, το οποίο βοηθά στην κατασκευή είκοσι εννέα (29) επιμέρους ρομποτικών κατασκευών.

### 3.3 Η περίπτωση Mobile Robot programming toolkit

Η περίπτωση του Mobile Robot programming toolkit, αποτελεί μία συνολική βιβλιοθήκη δεδομένων γραμμένη σε γλώσσα προγραμματισμού C ++ (Blanco & Fernandez – Madrigal, 2006) . Σε αυτή υπεισέρχεται ελεύθερης πρόσβασης λογισμικό ενώ ο κύριος στόχος σχεδίασής της είναι η υποβοήθηση στην ερευνητική διαδικασία του κλάδου της ρομποτικής μέσα από ένα σύνολο αλγοριθμικών συναρτήσεων (Clasaco, 2010) που έχουν άμεση σχέση με το Simultaneous localization and mapping (Slam) όσον αναφορά την απεικόνιση και την δημιουργία κινητικών εντολών πάνω σε μία ρομποτική κατασκευή (Harris, 2011).

Τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία συνοδεύουν την περίπτωση του Mobile Robot programming toolkit παρουσιάζονται παρακάτω (Tura & Szederkermi, 2010):

- Η συλλογή κατάλληλων δεδομένων τα οποία χρησιμεύουν σε άλλες ρομποτικές διαδικασίες με την βοήθεια των ρομποτικών αισθητηρίων.
- Η απεικόνιση καθώς και η διαχείριση μεγάλου πλήθους ομαδοποιημένων πληροφοριών.

- Ø Οι Off – line τύπου αλγόριθμοι που παρουσιάζονται στην λειτουργία του για Slam.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι διαμέσου του Mobile Robot programming toolkit, ο χρήστης αυτού έχει την δυνατότητα δημιουργίας νέας εφαρμογής ρομποτικού χαρακτήρα, πράγμα το οποίο οφείλεται στις βιβλιοθήκες δεδομένων που παρέχει (Montemerlo et al., 2003).

### 3.4 Lego Mindstorms

Η περίπτωση Lego Mindstorms, έχει υιοθετήσει κατάλληλο λογισμικό εκπαιδευτικού χαρακτήρα με σκοπό την κατασκευή μικρού μεγέθους παραμετροποιήσιμων ρομποτικών κατασκευών (Barnes, 2002).

Τα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται είναι τα εξής (Barnes, 2002):

- ü Ένα σύνολο αρθρωτών αισθητηρίων οργάνων.
- ü Ένα σύνολο κινητήρων.
- ü Ένα υπολογιστή τύπου brick ο οποίος θα πρέπει να είναι κατάλληλα προγραμματισμένος.

Η Lego Mindstroms εκδίδει τόσο εκπαιδευτικού χαρακτήρα ρομποτικές κατασκευές όσο και εμπορικού χαρακτήρα, μεταξύ των οποίων δεν υπάρχουν πάρα πολλές διαφορές όσον αφορά τις λειτουργίες και τις δυνατότητες που έχουν (Klassner, 2002).

Οι δύο (2) πιο βασικές εκδόσεις του Lego Mindstroms είναι οι εξής:

- ✓ Το Lego Mindstroms nxt.
- ✓ Το Lego Mindstroms nxt 2.0.

### LEGO MINDSTORMS NXT

Όσον αναφορά την έκδοση Lego Mindstorms nxt, αναπτύχθηκε το έτος 2006 και διοχέτευσε στην παγκόσμια αγορά τόσο την έκδοση εκπαιδευτικού χαρακτήρα όσο και την εμπορική έκδοση έτσι ώστε να καλύψει όλες τις ανάγκες των χρηστών του. Και οι δύο (2) αυτές υπο εκδόσεις έχουν υιοθετήσει το αντίστοιχο λειτουργικό nxt – g (Seung & Jae, 2007).

Το βασικό στοιχείο της συγκεκριμένης έκδοσης αποτελεί το nxt Intelligent Brick, το οποίο συνιστά ένα υπολογιστικό σύστημα υπό τετράγωνη μορφή που παρέχει την δυνατότητα εισόδου σε τέσσερις (4) αισθητήρες ταυτόχρονα αλλά και πραγματοποιεί τον απαιτούμενο έλεγχο μέχρι και τριών (3) κινητήρων με την συμβολή των καλωδίων τύπου RJ12. Επιπλέον, διαθέτει μία μεγάλου μεγέθους οθόνη LCD όπως επίσης και τέσσερα (4) στον αριθμό πλήκτρα τα οποία είναι απαραίτητα για τον χειρισμό του χρήστη πάνω στην ρομποτική συσκευή. Επιπροσθέτως, περιέχει ένα ηχείο μεγάλης κλίμακας με σκοπό την ακουστική ικανότητα του χρήστη διάμεσο της έντασής του η οποία σε πολλές περιπτώσεις φτάνει τα 8 Khz. Το τροφοδοτικό σύστημα λαμβάνει χώρα διαμέσου έξι (6) μπαταριών τύπου AA (Seung & Jae, 2007).

Συνοπτικά, η έκδοση Lego Mindstorms nxt, απαρτίζεται από τα παρακάτω επιμέρους στοιχεία – εργαλεία (Seung & Jae, 2007):

- Το αισθητήριο όργανο φωτός το οποίο εντοπίζει το φως που υπάρχει προς μία συγκεκριμένη πορεία. Το όργανο αυτό είναι ένα Led με σκοπό την φώτιση στοιχείων και αντικειμένων. Επιπλέον, αυτό το όργανο έχει την δυνατότητα να εντοπίσει όλες τις τιμές του φυσικού φωτός. Όσον αναφορά το λογισμικό που λειτουργεί, που όπως αναφέρθηκε νωρίτερα είναι το nxt – g, αυτό ανάλογα με τις φωτεινότητα του αντικειμένου δίνει ποσοστιαίες τιμές με αφετηρία το 0 που οριοθετείται ως το πιο σκοτεινό σημείο.
- Το αισθητήριο όργανο για την αφή που έχει την δυνατότητα εντοπισμού των δυνάμεων της πίεσης, του χτυπήματος και της δύναμης. Τα πλήκτρα τα οποία παρέχει το λογισμικό nxt, με την κατάλληλη ρύθμιση, μπορούν να προσθέσουν στην ρομποτική συσκευή και την αίσθηση της αφής. Συγκεκριμένα, το 0 ως τιμή λαμβάνεται στην περίπτωση που τα πλήκτρα αυτά δεν είναι πατημένα και μία τιμή 1 στην περίπτωση που τα πλήκτρα πατώνται.



- Το αισθητήριο όργανο ήχου που έχει την δυνατότητα να καταμετρά το στάδιο στο οποίο εξελίσσεται ο αντίστοιχος ήχος ενδιαφέροντος με ακραίες τιμές από 0 (καθόλου θόρυβος) έως και 100 (πάρα πολύς θόρυβος).
- Το αισθητήριο όργανο υπερήχων, το οποίο καταμετρά την απόσταση την οποία έχει το ενδιαφέρον του αντικείμενου της συσκευής από το αισθητήριο όπως επίσης έχει την δυνατότητα εντοπισμού κινητικής δραστηριότητας. Η μεγαλύτερη τιμή απόστασης την οποία μπορεί να καταγράψει το όργανο αυτό είναι 233cm. Ο τρόπος λειτουργίας του βασίζεται σε υπερηχητικά κύματα.
- Το αισθητήριο όργανο της θερμοκρασίας το οποίο καταμετρά την θερμοκρασία που υπάρχει στο φυσικό περιβάλλον της ρομποτικής συσκευής.

### LEGO MINDSTORMS NXT 2.0

Η συγκεκριμένη έκδοση αποτελεί την εξέλιξη της έκδοσης Lego Minsdtorms nxt και κατ' επέκταση διαθέτει όλες τις λειτουργίες και τα εξαρτήματα που αναφέρθηκαν νωρίτερα με την πρόσθεση βέβαια κάποιων ακόμα. Έτσι, οι ιδιότητες οι οποίες εμπλούτισαν την συγκεκριμένη έκδοση είναι οι ακόλουθες (Bagnall, 2012):

- Η λειτουργία επεξεργασίας ηχητικού υλικού: Με την συγκεκριμένη λειτουργία παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να αποθηκεύει ηχητικό υλικό που ο ίδιος επιθυμεί και σε μελλοντικό χρόνο να το ξανά αναπαράγει.
- Η λήψη εικόνας: Μέσω της λήψης μία εικόνας, ο χρήστης έχει την δυνατότητα να εμφανίσει, όποτε ο ίδιος επιθυμεί, την εικόνα αυτή στην οθόνη του NXT.
- Το αισθητήριο όργανο για το χρώμα RGB: Μέσω του συγκεκριμένου εξαρτήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί ο διαχωρισμός των βασικότερων χρωμάτων που υπάρχουν. Τα χρώματα τα οποία είναι σε θέση να αναγνωρίσει η ρομποτική συσκευή μέσω αυτού του εξαρτήματος είναι το πράσινο, το μπλε, το λευκό, το κόκκινο, το μαύρο και το κίτρινο.
- Ο συνολικός πλέον αριθμός των κομματιών που περιλαμβάνει η ρομποτική κατασκευή αυξήθηκε σε εξακόσια δέκα εννέα (619) επιμέρους τμήματα.
- Το εξάρτημα Zamor Sphere Launcher, το οποίο δίνει την δυνατότητα οπλισμού.
- Η δυνατότητα σύνδεσης επτά (7) καλωδίων για κινητήρες και αισθητήρες.

- ο Το εξελεγμένο κουτί NXT.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για το Lego Mindstorms, ο προγραμματισμός της ρομποτικής κατασκευής υλοποιείται διαμέσου της οθόνης καταχώρησης εντολών. Έτσι οι γλώσσες προγραμματισμού που λαμβάνουν μέρος στον προγραμματισμό αυτών των συσκευών είναι οι εξής (Bagnall, 2012):

- ü Η γλώσσα προγραμματισμού RCX Code.
- ü η ROBOLAB η οποία έχει ως κεντρικό άξονα λειτουργίας της, το Labview.

### **3.5 Vex Robotics Design System**

Η περίπτωση του Vex Robotics Design System, αποτελεί μία ρομποτική κατασκευή η οποία έχει ως βασικό σκοπό της, την εκμάθηση της ρομποτικής επιστήμης και την γνωριμία αυτής με το ευρύ κοινό (Schweikardt & Gross, 2006).

Η συγκεκριμένη ρομποτική κατασκευή απαρτίζεται από τα εξής επιμέρους στοιχεία (Schweikardt & Gross, 2006):

- ο Τους διακόπτες (2 στον αριθμός).
- ο Τα αισθητήρια όργανα επαφής (2 στον αριθμό).
- ο Τους κινητήρες ηλεκτρικού τύπου (4 στο πλήθος τους).
- ο Το σερβοκινητήρα (1 σερβοκινητήρας).
- ο Τα λάστιχα τα οποία κυμαίνονται σε μέγεθος (4 στον αριθμό).

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> : Η περίπτωση της Gazebo

### 4.1 Γενικά στοιχεία και πλεονεκτήματα του Gazebo

Είναι εύκολα αντιληπτό, ακόμα και από κάποιον ο οποίος βρίσκεται εκτός του κλάδου της ρομποτικής επιστήμης, ότι στον τομέα αυτό, στοιχείο ζωτικής σημασίας αποτελούν οι εκάστοτε δοκιμές των ρομποτικών κατασκευών. Σε θεωρητική βάση, οι δοκιμές αυτές των κατασκευών ρομποτικού χαρακτήρα, μπορεί να μην παρουσιάζουν κάποιο σφάλμα ή κάποια δυσλειτουργία, αυτό βέβαια δεν συμβαίνει και στον πρακτικό τομέα.

Με την εξέλιξη της ρομποτικής επιστήμης και συγκεκριμένα με την ανάπτυξη των ρομποτικών εφαρμογών σε περιβάλλον προσομοίωσης, ο κλάδος αυτός, πλέον, έχει καταφέρει να εξισορροπήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό το θεωρητικό με το πρακτικό σκέλος της επιστήμης αυτής. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί σύγχρονοι προσομοιωτές ελεγκτικού και δοκιμαστικού χαρακτήρα σε κάθε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας ενός ρομπότ.

Ένα από τα σημαντικότερα λογισμικά τα οποία έχουν την δυνατότητα να πραγματοποιήσουν προσομοίωση των συσκευών ρομπότ αποτελεί και το Gazebo. Αυτό, ουσιαστικά είναι ένας δυναμικός τρισδιάστατος προσομοιωτής που δραστηριοποιείται σε λειτουργικό περιβάλλον Linux και υποβοηθάτε από το ROS. Την ευρεία χρήση του από τους χρήστες, το Gazebo, την οφείλει κυρίως, στο λογισμικό ανοιχτού κώδικα με το οποίο δομείται και λειτουργεί (Koenig & Haward, 2004).

Οι σημαντικότερες χαρακτηριστικές ιδιότητες οι οποίες συνοδεύουν την λειτουργία του Gazebo είναι οι εξής (Wei et al., 2014):

- Η δυνατότητα προσομοίωση φυσικών χαρακτηριστικών και δυνάμεων.
- Η μεγάλη σε όγκο βιβλιοθήκη που παρέχει ρομποτικού περιεχομένου δεδομένα.
- Ο ισχυρός αριθμός πολλών τύπων αισθητήριων οργάνων.

- Το εύκολο στην χρήση λειτουργικό και προγραμματιστικό περιβάλλον που κατέχει.

Το λειτουργικό περιβάλλον προσομοίωσης Gazebo, έχει δημιουργηθεί με σκοπό του στοιχείου της ακρίβειας εντός των δυναμικών περιβαλλόντων που έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει και να συναντήσει μία ρομποτική κατασκευή. Εντός του συγκεκριμένου προσομοιωτή, όλα τα επιμέρους αντικείμενα που εντάσσονται κινούνται με φυσικό τρόπο λαμβάνοντας υπόψιν όλες τις δυνάμεις της φύσης, όπως είναι για παράδειγμα η δύναμη ή η τριβή (Wei et al., 2014).

Οι ρομποτικές κατασκευές, απαρτίζονται, πάντα, από δύσκολα στην κίνηση επιμέρους εξαρτήματα που προσαρτώνται στο κύριο μέρος της συσκευής και πραγματοποιείται η σύνδεση μεταξύ τους μέσω των αρθρώσεων. Οι ανάλογες δυνάμεις που λαμβάνουν χώρα, έχουν την δυνατότητα να ασκούνται τόσο στις επιφάνειες όσο και στις αρθρώσεις με σκοπό την μετατόπισή τους καθώς και την σύνδεση με το εξωτερικό περιβάλλον (Koenig & Haward, 2004).

Οι βασικές εκδόσεις του Gazebo είναι οι εξής (Gazebo, 2018):

- Το ROS Indigo μέσω της έκδοσης Gazebo V2. 2.
- Το ROS Jade μέσω της έκδοσης Gazebo V4. 0.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι η επίσημη ιστοσελίδα της Gazebo είναι η εξής: <http://gazebosim.org/> και ότι η συγκεκριμένη εφαρμογή παρέχει την δυνατότητα εκπαιδευτικών μαθημάτων τα οποία μπορεί ο κάθε χρήστης να εντοπίσει και να επεξεργαστεί στην εξής ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://gazebosim.org/tutorials>.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν τα κυριότερα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχει το λειτουργικό σύστημα Gazebo. Έτσι, λοιπόν, τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν ως εξής (Shimizu et al., 2015):

- Ο κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να ανάπτυξη με την συμβολή πραγματικών συνθηκών και δυνάμεων το δικό του μοντέλο ρομποτικής κατασκευής.
- Παρέχει δυνατότητα προσομοίωσης των ρομποτικών συσκευών και σε εξωτερικό αλλά και σε εσωτερικό περιβάλλον λειτουργίας αυτής.

- Παρέχει τα χαρακτηριστικά της ακρίβειας των κινήσεων, της συνοχής των λειτουργιών καθώς και της άμεσης αλληλεπίδρασης με το φυσικό περιβάλλον.
- Έχει στην κατοχή του μεγάλο αριθμό ανοιχτού κώδικα βιβλιοθήκες ρομποτικών δεδομένων.
- Πολλές επιλογές σε σχέση με την απεικόνιση της προσομοίωσης.
- Μεγάλος αριθμός αισθητηρίων οργάνων.
- Πολύ εύκολο και γρήγορο γραφικό περιβάλλον.

## 4.2 Χρήσεις

Η εφαρμογή του λογισμικού προσομοίωσης Gazebo, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί στις παρακάτω περιπτώσεις (Khoa et al., 2018):

- Στις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιούνται και ως κεντρικό άξονα μελέτης τους, του αλγόριθμους.
- Στην δημιουργία ρομποτικών μέσων μετακίνησης.
- Στην δημιουργία ρομποτικών κατασκευών ανθρωποειδούς μορφής.
- Στην δημιουργία και την σχεδίαση ρομποτικών κτηρίων.
- Στην ανάπτυξη ρομποτικών βραχιόνων.
- Στην δραστηριότητα δοκιμαστικής λειτουργίας διαφόρων ειδών παλινδρομήσεων τα οποία ανταποκρίνονται σε πραγματικά σενάρια και δυνάμεις.

## 4.3 Αναπτυσσόμενη σχέση μεταξύ Gazebo και ROS

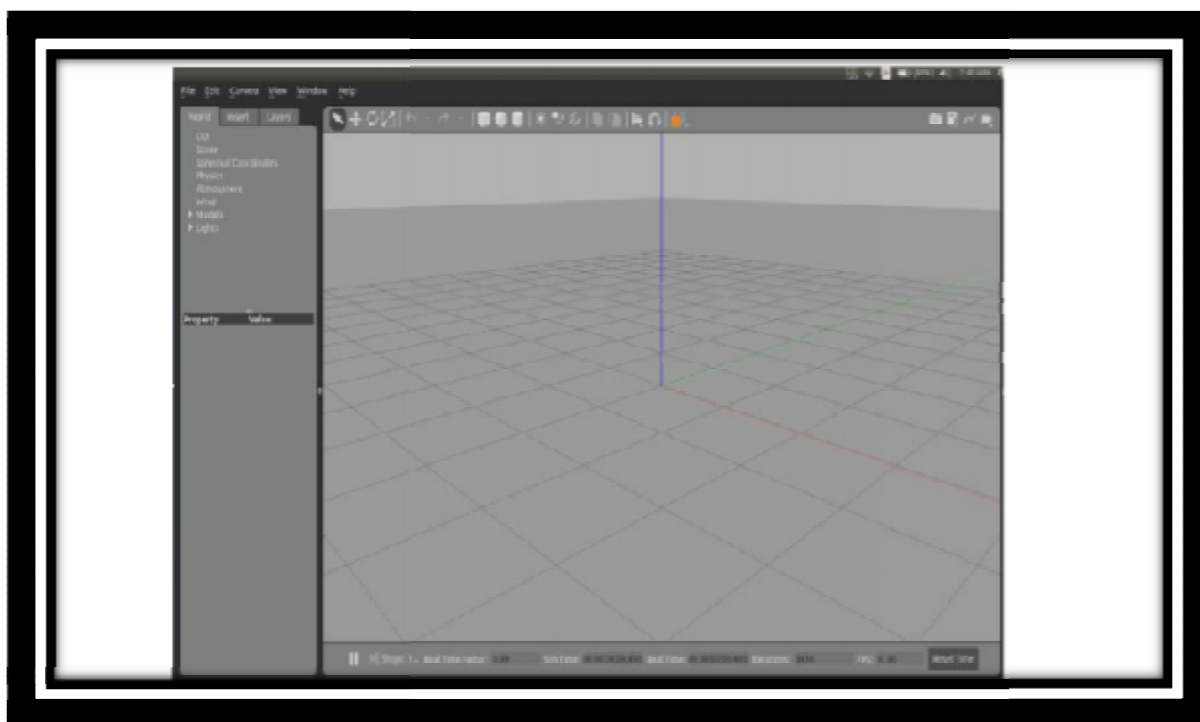
Για την διαδικασία κάλυψης αναγκών της ρομποτικής προσομοίωσης σε τρισδιάστατο περιβάλλον λειτουργίας, είναι απαραίτητη η αλληλοσύνδεση και η κάλυψη μεταξύ του ROS και του Gazebo. Μέσα από το πλαίσιο της συγκεκριμένης

συνεργασίας αναπτύσσονται ορισμένα πολύ βασικά πλεονεκτήματα και δυνατότητες τα οποία αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω (Sokolov et al., 2016):

- Πραγματοποιείται μη διακοπόμενη ροή πληροφοριών και δεδομένων που χρονολογούνται σε ρεαλιστικό χρόνο, όσον αφορά την απεικόνιση της συνολικής παραγωγής της ρομποτικής κατασκευής που υλοποιείται.
- Παρέχεται η επιπλέον δυνατότητα διεύρυνσης του αντίστοιχου κώδικα, με εμπλουτισμό των λειτουργιών που αφορούν τα κινητικά στοιχεία και την δομή της προσομοίωσης των ρομποτικών κατασκευών.
- Η δυνατότητα λειτουργίας της εντολής `rgt_graph`.

#### 4.4 Περιγραφή περιβάλλοντος Gazebo

Η αρχική οθόνη του γραφικού περιβάλλοντος που εξελίσσεται στο περιβάλλον της Gazebo έχει ως εξής:

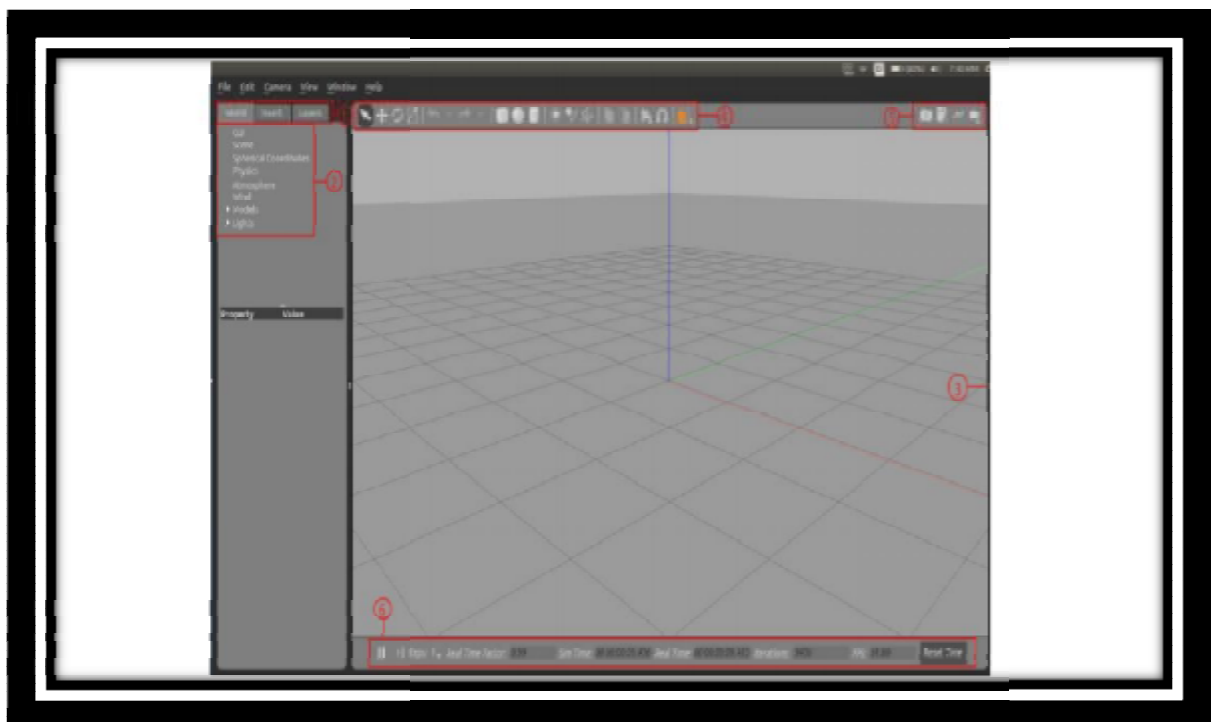


Εικόνα 1: Αρχική οθόνη περιβάλλοντος Gazebo (Gazebo, 2018).

Όπως παρατηρούμε και στην παρά πάνω αρχική οθόνη της Gazebo, στην αριστερή πλευρά της συγκεκριμένης οθόνης τοποθετούνται τρεις (3) πολύ βασικές καρτέλες λειτουργιών. Αυτές οι καρτέλες είναι οι εξής (Gazebo, 2018):

- Η καρτέλα Insert: Στην συγκεκριμένη καρτέλα τοποθετούνται οι διάφοροι τύποι ρομποτικών κατασκευών που υπάρχουν την δεδομένη χρονική στιγμή και επιφέρεται ταυτόχρονα η δυνατότητα εισχώρησής τους, στο παρόν γραφικό περιβάλλον της προσομοίωσης που θα λάβει χώρα.
- Η καρτέλα World: Η καρτέλα αυτή περιέχει συνοπτικά όλες τις επιλογές προσομοίωσης που έχει στην κατοχή του ο χρήστης μέσω του Gazebo. Αφορά, δηλαδή, το σύνολο των φυσικών χαρακτηριστικών και των μοντέλων που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον προσομοίωσης.
- Η καρτέλα Layers: Αποτελεί το οργανωτικό – δομικό φάσμα της εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα, περιέχει το σύνολο των υπό – ομάδων απεικόνισης μέσω των οποίων μετουσιώνονται οι εκάστοτε προσομοιώσεις σε πράξεις.

Οι παραπάνω καρτέλες φαίνονται καθαρά και στην εικόνα η οποία ακολουθεί.



Εικόνα 2: Απεικόνιση βασικών καρτελών αρχικής οθόνης Gazebo (Gazebo, 2018).

Επίσης, στο δεξιό μέρος της αρχικής οθόνης του Gazebo, υπάρχει ένα κινούμενο εμφάνιση μενού διαμέσου του οποίου ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί και να διαχειρίζεται τα κινητά εξαρτήματα της ρομποτικής κατασκευής, όπως για παράδειγμα είναι οι αρθρώσεις. Πρέπει, βέβαια, να αναφερθεί ότι στην περίπτωση μη εμφάνιση κινητών εξαρτημάτων εντός της προσομοίωσης, το συγκεκριμένο μενού επιλογών παραμένει κενό, χωρίς κανένα απολύτως περιεχόμενο (Gazebo, 2018).

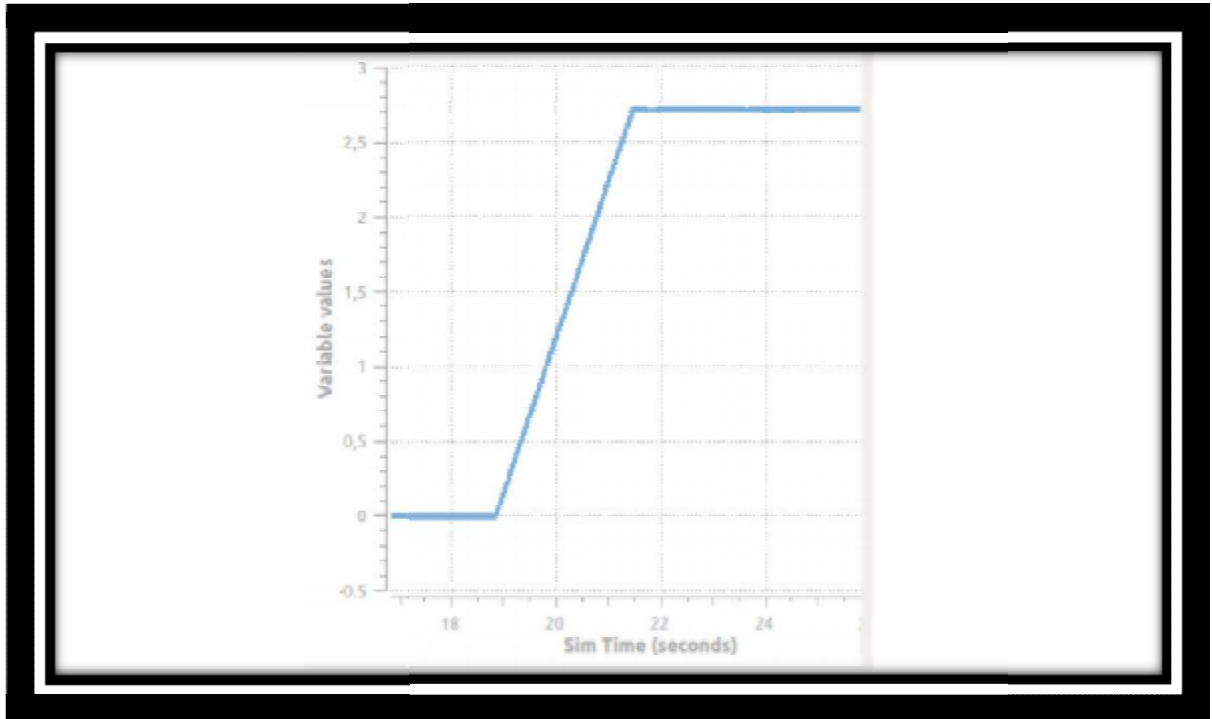
Εκτός των άλλων λειτουργιών που αναφέρθηκαν πιο πάνω στο παρόν υποκεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, το Gazebo, διαθέτει εντός του γραφικού περιβάλλοντος του δύο (2) ακόμα γραμμές εργαλείων όπως και ένα επιπρόσθετο μενού δυνατοτήτων. Η πρώτη (1<sup>η</sup>) γραμμή εργαλείων τοποθετείται στο πάνω μέρος της αρχικής οθόνης και απαρτίζεται από τις εξής εντολές (Gazebo, 2018):

- ⌵ Περιστροφή μοντέλου.
- ⌵ Μετατόπιση μοντέλου.
- ⌵ Μεγέθυνση μοντέλου.
- ⌵ Προοπτική μοντέλου.
- ⌵ Ένταξη επιθυμητού σχήματος στο μοντέλο.

Επιπροσθέτως, μέσω του Gazebo, χορηγείται η δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει γράφημα σχετικά με τον χρόνο διεκπεραίωσης της προσομοίωσης σε σχέση με την ένταση των σταδίων παραγωγής του ρομποτικού μοντέλου. Αυτό υλοποιείται μέσω της εντολής «Create Plot» η οποία είναι τοποθετημένη στο δεξιό τμήμα της πρώτης (1<sup>ης</sup>) γραμμής εργαλείων. Το γράφημα αυτού του είδους έχει την δυνατότητα απεικόνισης από δύο (2) και πάνω παραμέτρους και εξαρτήματα των εκάστοτε μοντέλων, πάντα με την συμβολή των φυσικών δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό. Αφού οριστούν όλα τα προαπαιτούμενα στοιχεία, τότε και μόνο τότε ο χρήστης είναι σε θέση να λάβει το αντίστοιχο γράφημα της επιλογής του μέσω της εντολής «Export» (Gazebo, 2018).

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου είδους γραφήματος αναπαριστάται παρακάτω.





Εικόνα 3: Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης χρόνου και διεκπεραίωσης σταδίων στο gazebo (Gazebo, 2018).

Η δεύτερη (2η) γραμμή εργαλείων που αναφέρθηκε νωρίτερα εντοπίζεται στο κάτω μέρος της αρχικής οθόνης του Gazebo που παρατέθηκε ως εικόνα νωρίτερα (Εικόνα 2). Η συγκεκριμένη γραμμή εργαλείων διαθέτει τις παρακάτω πολύ σημαντικές εντολές – δυνατότητες (Gazebo, 2018):

- Τη δυνατότητα της συνολικής εκκίνησης εκ νέου του χρονικού ορίζοντα όλης της προσομοίωσης.
- Τη διακοπή της λειτουργίας της κίνησης εντός της προσομοίωσης.
- Το ρεαλιστικό χρόνο της προσομοίωσης που υλοποιείται.
- Το συνολικό χρόνο της παρούσας προσομοίωσης.
- Τον αριθμό επαναλήψεων που έχουν πραγματοποιηθεί εντός της προσομοίωσης αυτής, στο γραφικό περιβάλλον.

Τέλος, στην αρχική οθόνη του Gazebo, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι στο επάνω μέρος αυτής, τοποθετείται ένα κύριο μενού το οποίο περιέχει πολύ βασικές εντολές. Αυτό το τμήμα των κύριων εντολών έχει άμεση σχέση με τις εκάστοτε λειτουργίες του αρχείου της προσομοίωσης που αφορούν την αποθήκευση αυτού, τον τρόπο προβολής του, τους κόμβους όπως επίσης και τις εξειδικευμένες εντολές Building

Editor και Model Editor. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η εντολή «Model Editor» εφαρμόζεται μόνο στην περίπτωση που ο χρήστης θέλει να κατασκευάσει κάποιο ρομποτικό όχημα μετακίνησης ενώ η εντολή «Building Editor» χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη ρομποτικών κτηρίων (Gazebo, 2018).

## 4.5 Αρχιτεκτονική Gazebo

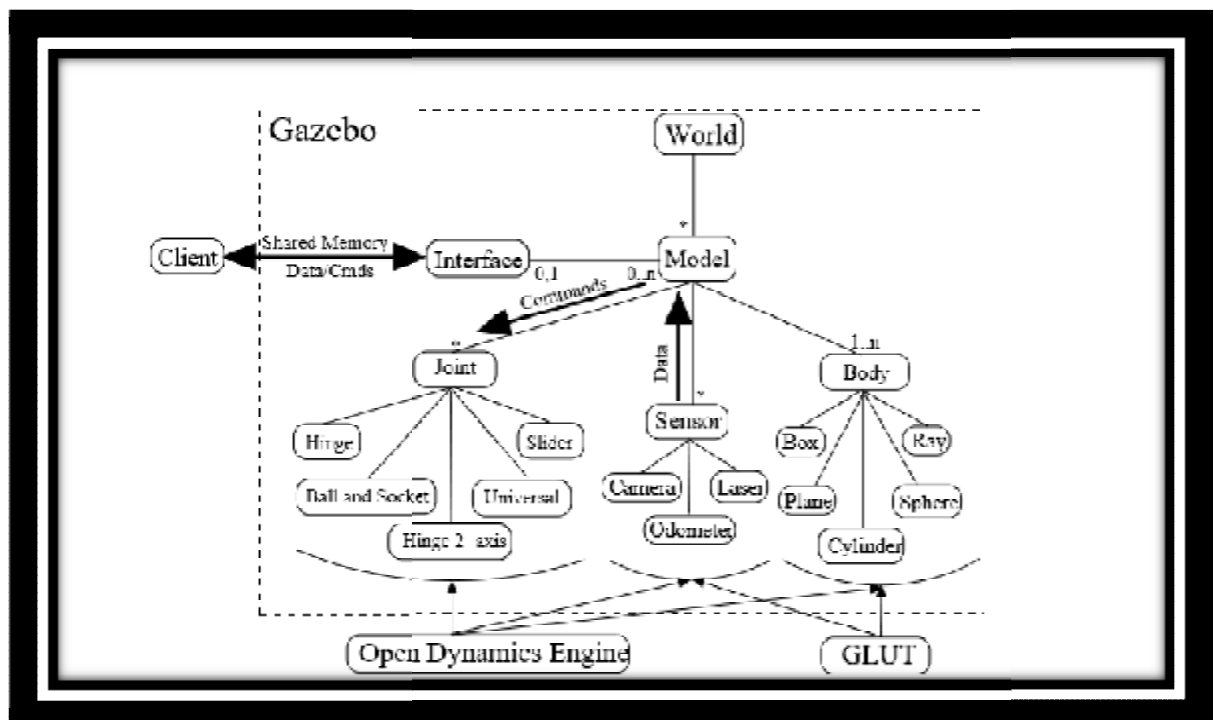
Το λογισμικό Gazebo αποτελεί ένα τρισδιάστατου χαρακτήρα ρομποτικό περιβάλλον προσομοίωσης, το οποίο είναι δημιουργημένο με τέτοιο τρόπο ώστε να υποστηρίζεται από Object Oriented Graphics Rendering Engine (OGRE). Και στην περίπτωση αυτού του λογισμικού, έχει την δυνατότητα να εφαρμόζεται διαμέσου του Player server (Hoa et al., 2004).

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του, το Gazebo, απαρτίζεται από δύο (2) κύριες διαδικασίες οι οποίες έχουν άμεση σύνδεση με τον Server και με τον πελάτη. Ο server έχει την δυνατότητα να παράγει δεδομένα αισθητήριων ικανοτήτων. Επίσης, ο server είναι εκτελέσιμος από gzserver ενώ οι βιβλιοθήκες που παρέχουν αφορούν την φυσική, τους αισθητήρες, την μετακίνηση και την αναγνώριση. Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία του πελάτη, δίνει την δυνατότητα της επικοινωνίας και της σύνδεσης η οποία πραγματοποιείται μεταξύ του εκάστοτε χρήστη Gazebo και της προσομοίωσης που υλοποιείται. Η διαδικασία αυτή, εκτελείται από αρχεία τύπου gzclient ενώ οι βιβλιοθήκες αφορούν την μεταφορά και την απόδοση των δεδομένων (Wei et al., 2014).

Πιο συγκεκριμένα, σύμφωνα με τους Koeing & Howard (2004), η αρχιτεκτονική του Gazebo έχει προχωρήσει μέσα από δύο επαναλήψεις κατά τις οποίες μάθαμε πώς να δημιουργούμε ένα απλό εργαλείο τόσο για τους προγραμματιστές όσο και για τους τελικούς χρήστες. Από την αρχή της ανάπτυξης του Gzebo, εντοπίστηκε ότι ένα κύριο χαρακτηριστικό αυτής, θα πρέπει να είναι η δυνατότητα εύκολης δημιουργίας νέων ρομπότ, ενεργοποιητών, αισθητήρων και αυθαίρετων αντικειμένων. Ως αποτέλεσμα, το Gazebo διατηρεί ένα απλό API για την προσθήκη αυτών των αντικειμένων, τα οποία ονομάζουμε μοντέλα, και τα απαραίτητα εξαρτήματα «γάντζους» για

αλληλεπίδραση με προγράμματα πελατών. Ένα επίπεδο κάτω από αυτό το API βρίσκεται στις βιβλιοθήκες τρίτου μέρους οι οποίες χειρίζονται τόσο την προσομοίωση φυσικής όσο και την απεικόνιση αυτής της δραστηριότητας. Οι συγκεκριμένες βιβλιοθήκες οι οποίες εφαρμόστηκαν επιλέχθηκαν, έχοντας ως κύρια βάση τους, την κατάσταση ανοικτού πηγαίου κώδικα, την ενεργή βάση χρηστών και την ωριμότητα. Ο κόσμος αντιπροσωπεύει το σύνολο όλων των μοντέλων και περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η βαρύτητα και ο φωτισμός. Κάθε μοντέλο αποτελείται από τουλάχιστον ένα σώμα και οποιοδήποτε αριθμό συνδέσμων και αισθητήρων. Οι βιβλιοθήκες τρίτου συνεργάζονται με το Gazebo στο χαμηλότερο επίπεδο. Αυτό εμποδίζει τα μοντέλα να εξαρτώνται από συγκεκριμένα εργαλεία που ενδέχεται να αλλάξουν στο μέλλον. Τέλος, λαμβάνονται εντολές πελάτη και τα δεδομένα επιστρέφονται μέσω διεπαφής κοινής μνήμης. Ένα μοντέλο μπορεί να έχει πολλές διεπαφές για λειτουργίες που περιλαμβάνουν, για παράδειγμα, τον έλεγχο των αρθρώσεων και τη μετάδοση εικόνων κάμερας (Koenig & Haward, 2004).

Ακολουθεί μία απεικόνιση της αρχιτεκτονικής του Gazebo που αναλύθηκε πιο πάνω στην παρούσα πτυχιακή εργασία.



Εικόνα 4 : Αρχιτεκτονική δομή Gazebo (Koenig & Haward, 2004).

## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> : Συμπεράσματα και προτάσεις

### 5.1 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν μέσα από την βιβλιογραφική επισκόπηση η οποία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια διερεύνησης του θέματος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ποικίλα και έχουν ως ακολούθως:

- Û Ως λογισμικό ρομποτικών κατασκευών, καλείται το σύνολο των ορισμένων εντολών που δίνει ο χρήστης σε μία μηχανική συσκευή (ρομπότ), οι οποίες καθορίζουν τη φύση καθώς και το είδος των λειτουργιών που στην συνέχεια θα πραγματοποιήσει το ρομπότ.
- Û Σε γενικές γραμμές η εύρυθμη λειτουργία των ρομποτικών κατασκευών, αποτελεί μία εξαιρετικά δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί με τον σωστό και αποτελεσματικό τρόπο.
- Û Η ρομποτική προσομοίωση, παρέχει την δυνατότητα δοκιμής σε νέες τεχνολογίες οι οποίες εξελίσσονται σε συνεχώς μεταβαλλόμενα και δυναμικά περιβάλλοντα δράσης, όπως επίσης και πραγματοποιεί με άμεσο τρόπο την συλλογή αναδραστικών δεδομένων τα οποία εξυπηρετούν στον έλεγχο και στην παρουσία της ποιότητας του εκάστοτε συστήματος.
- Û Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της ρομποτικής προσομοίωσης είναι το πολύ χαμηλό κόστος λειτουργίας, η παροχή της δυνατότητας υλοποίησης του ρομποτικού μοντέλου σε σταδιακή εξέλιξη, η ανάπτυξη διαφόρων πλατφόρμων που περιέχουν σύνθετα ή απλά ρομποτικά μοντέλα, η υψηλή σημασία της δραστηριότητας αυτής ως εκπαιδευτικού χαρακτήρα εργαλείο, η παροχή μελλοντικής πρόβλεψης στους χρήστες, και η δυνατότητα επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων ρομποτικών προσομοιώσεων.
- Û Τα βασικά μειονεκτήματα της ρομποτικής προσομοίωσης είναι το ποιοτικό επίπεδο της ρομποτικής προσομοίωσης σε σχέση με την λειτουργία ενός πραγματικού ρομπότ είναι πολύ, η υψηλή δυσκολία αποτύπωσης όλης της ρεαλιστικής πραγματικότητας στην εικονική προσομοίωση της εκαστοτε ρομποτικής κατασκευής, το γεγονός ότι δεν μπορεί να υπάρξει πλήρη ταύτιση

των λειτουργιών και των συμπεριφορών μεταξύ πραγματικότητας και ρομποτικής προσομοίωσης.

- Û Η λειτουργία του προσομοιωτή της ρομποτικής, εφαρμόζεται με σκοπό την επιτυχή ανάπτυξη προσαρτημένων κατάλληλων εφαρμογών εντός των ρομποτικών κατασκευών, μηδενίζοντας την αναμενόμενη σύνδεση αυτού, με τη ρεαλιστική – πραγματική ρομποτική μηχανή, δαπανώντας, ο χρήστης, με αυτόν τον τρόπο, σαφώς, λιγότερους χρηματικούς πόρους και σε πολλές περιπτώσεις και λιγότερο αξιοποιήσιμο χρόνο.
- Û Οι πιο βασικές χρήσεις του προσομοιωτή ρομποτικής είναι οι εφαρμογές ρομπότ που περιέχουν κίνηση, το 3D modeling στο περιβάλλον, το 3D rendering στο περιβάλλον και η εφαρμογή ελέγχου.
- Û Οι πιο γνωστές μη κατάλληλες εφαρμογές της ρομποτικής προσομοίωσης για την διαδικασία της εκπαίδευσης είναι η URBI, η προσομοίωση στην γραμμή παραγωγής των ρομπότ, το Robot operation system και η διαστημική προσομοίωση.
- Û Οι σημαντικότερες πλατφόρμες ρομποτικής προσομοίωσης είναι το Anycode marilou, το Webots, το Player project, το Microsoft robotics development studio, το Openrave, το Dialogos, το Ni Labview robotics module, το Simbad, το Camelot ropsim και το Carmen toolcift.
- Û Η πλατφόρμα AnyKode Marilou αποτελεί ένα ρομποτικό προσομοιωτή εκπαιδευτικού χαρακτήρα το οποίο έχει εφαρμογή σε ρομπότ που διατελούν κινήσεις, σε αρθρωτούς βραχίονες και σε ανθρωποειδή ρομπότ που δραστηριοποιούνται εντός πραγματικού περιβάλλοντος με ότι αυτό φυσικά συνεπάγεται.
- Û Το Webots έχει, κυρίως, εκπαιδευτικό σκοπό και χαρακτήρα, ενώ περιλαμβάνει την βιβλιοθήκη ODE (Open Dynamics Engine) έτσι ώστε να της παρέχεται η δυνατότητα του εντοπισμού τυχόν επαφών μεταξύ των μοντέλων καθώς και για να προσομοιώνει με στοιχεία ακριβείας το συνολικό αριθμό των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων, όσον αφορά τα φυσικά τους χαρακτηριστικά για τα αντικείμενα που εισέρχονται στην πλατφόρμα.
- Û Η πλατφόρμα Player Project αποτελεί ένα ελεύθερης πρόσβασης εργαλείο υποστήριξης ρομποτικών κατασκευών και διαφόρων αισθητήριων συστημάτων. Αποτελείται από τρία (3) έργα σύγχρονης ρομποτικής, το gazebo, το player και το stage.

- Û Το Microsoft Robotics Developer Studio ή αλλιώς σε συντομογραφία MRDS, αποτελεί έναν ρομποτικό προσομοιωτή που είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο, εντός κάποιου περιβάλλοντος το οποίο έχει ως κύριο άξονα του, το περιβάλλον λειτουργίας των Windows και αφορά, κατά κύριο λόγο, χώρους εκπαίδευσης και εμπορικές δραστηριότητες, που έχουν σχέση με ρομποτικές κατασκευές.
- Û Η πλατφόρμα openrave συνιστά ένα περιβάλλον σχεδίασης, χρήσης και δοκιμής αλγόριθμων που περιέχουν κινητικά στοιχεία σε ρεαλιστικές ρομποτικές κατασκευές.
- Û Η πλατφόρμα Dialogos αποτελεί ένα σύγχρονο περιβάλλον γραφικού χαρακτήρα που έχει ως βασικό σκοπό του την ανάπτυξη υπολογιστικών συστημάτων που έρχονται σε επαφή με τον εκάστοτε χρήστη μέσω μίας φωνητικής εντολής που παρεμβάλλεται στην διαδικασία επικοινωνίας. Τα αντίστοιχα «dialogs» αλληλεπιδρούν μεταξύ τους διαμέσου των αντίστοιχων διαγραμμάτων ροής που λαμβάνουν χώρα στην δραστηριότητα.
- Û Το NI labview robotics module αποτελεί έναν ρομποτικό προσομοιωτή σε αντίστοιχες κατασκευές και αφορά, κυρίως, τον έλεγχο αυτών. Αυτή η πλατφόρμα εντάσσεται στο περιβάλλον εξέλιξης του Labview, με σκοπό να διοχετεύει ρομποτικές βιβλιοθήκες σε αυτό έτσι ώστε σε τελικό στάδιο να επιτευχθεί η απαιτούμενη σύνδεση ανάμεσα στα αισθητήρια ρομποτικά εξαρτήματα και στην συνολική κατασκευή που προσομοιώνεται. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται διαμέσου αλγοριθμικού χαρακτήρα συναρτήσεων.
- Û Το Simbad πλατφόρμα ρομποτικής προσομοίωσης η οποία είναι εύκολο να εντοπισθεί από κάθε χρήστη αφού είναι ελεύθερη όσον αναφορά την πρόσβαση διότι ο χαρακτήρας της είναι κυρίως εκπαιδευτικού χαρακτήρα. Αυτή περιέχει στο εσωτερικό των λειτουργιών της, μία απλή μορφή βάσης δεδομένων και υιοθετεί, πολύ συχνά, αλγοριθμικές συναρτήσεις, στον ρομποτικό κλάδο.
- Û Η πλατφόρμα ρομποτικής προσομοίωσης Camelot Ropsim, έχει ως κύριο σκοπό της την προσομοίωση συνολικών μοντέλων ρομποτικού χαρακτήρα. Αυτή αποτελεί μια suite προσομοίωσης μοντέλων ρομπότ, που διαθέτει ως βασικό πυλώνα της, την εφαρμογή ηλεκτρονικού υπολογιστή και έχει την δυνατότητα να λειτουργεί εντός ενός τρισδιάστατου υπολογιστικού

περιβάλλοντος εικονικού περιεχομένου. Επιπλέον, μέσω του εικονικού περιβάλλοντος λειτουργίας της, μπορεί να οπτικοποιεί όλη τη γραμμή παραγωγής της ρομποτικής κατασκευής σε όλα τα στάδια αυτής.

- Ü Το Carmen toolkit ή αλλιώς γνωστό και ως Carnegie Mellon Robot Navigation Toolkit, αποτελεί έναν πολύ γνωστό προσομοιωτή ρομποτικών κατασκευών ο οποίος συνοδεύεται από αντίστοιχο λογισμικό ανοιχτού κώδικα και έχει ως βασικό στόχο του τον έλεγχο της ασφάλειας όλων των επιμέρους ρομποτικών συσκευών οι οποίες μεταφέρονται και εντάσσονται σε ένα συνολικό ρομποτικό σύστημα. Ο συγκεκριμένος προσομοιωτής, αναπτύχθηκε ως τμήμα λογισμικού που ως αρχικό σκοπό είχε την δραστηριότητα της απαραίτητης και βασικής λειτουργίας που αφορούσε το κομμάτι της πλοήγησης της συσκευής.
- Ü Οι πιο γνωστές ρομποτικές κατασκευές είναι το RoboPlus Bioloid, το Mobile Robot programming toolkit, το Lego Mindstorms και το Vex robotics design system.
- Ü Η ρομποτική κατασκευή roboPlus Bioloid, μηχανισμός, απαρτίζεται τόσο από κύρια δεδομένα όσο και από επιμέρους, μικρού μεγέθους βέβια, σερβομηχανισμούς οι οποίοι καλούνται ως AX-12 Dynamixels οι οποίοι εφαρμόζονται σε κυκλική διάταξη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η ανάπτυξη ποικίλων ρομπότ ανθρωποειδούς χαρακτήρα και δομής.
- Ü Η περίπτωση του Mobile Robot programming toolkit, αποτελεί μία συνολική βιβλιοθήκη δεδομένων γραμμένη σε γλώσσα προγραμματισμού C ++. Σε αυτή υπεισέρχεται ελεύθερης πρόσβασης λογισμικό ενώ ο κύριος στόχος σχεδίασής της είναι η υποβοήθηση στην ερευνητική διαδικασία του κλάδου της ρομποτικής μέσα από ένα σύνολο αλγοριθμικών συναρτήσεων που έχουν άμεση σχέση με το Simultaneous localization and mapping (Slam) όσον αναφορά την απεικόνιση και την δημιουργία κινητικών εντολών πάνω σε μία ρομποτική κατασκευή.
- Ü Η Lego Mindstorms, έχει υιοθετήσει κατάλληλο λογισμικό εκπαιδευτικού χαρακτήρα με σκοπό την κατασκευή μικρού μεγέθους παραμετροποιήσιμων ρομποτικών κατασκευών. Τα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται είναι ένα σύνολο αρθρωτών αισθητηρίων οργάνων, ένα σύνολο κινητήρων και ένα υπολογιστή τύπου brick ο οποίος θα πρέπει να είναι κατάλληλα προγραμματισμένος.

- Û Η Lego Mindstorms εκδίδει τόσο εκπαιδευτικού χαρακτήρα ρομποτικές κατασκευές όσο και εμπορικού χαρακτήρα, μεταξύ των οποίων δεν υπάρχουν πάρα πολλές διαφορές όσον αφορά τις λειτουργίες και τις δυνατότητες που έχουν. Οι δύο (2) πιο βασικές εκδόσεις του Lego Mindstorms είναι το Lego Mindstorms nxt και το Lego Mindstorms nxt 2.0.
- Û Η περίπτωση του Vex Robotics Design System, αποτελεί μία ρομποτική κατασκευή η οποία έχει ως βασικό σκοπό της, την εκμάθηση της ρομποτικής επιστήμης και την γνωριμία αυτής με το ευρύ κοινό. Η συγκεκριμένη ρομποτική κατασκευή απαρτίζεται από τα εξής επιμέρους στοιχεία: τους διακόπτες (2 στον αριθμός), τα αισθητήρια όργανα επαφής (2 στον αριθμό), τους κινητήρες ηλεκτρικού τύπου (4 στο πλήθος τους), το σερβοκινητήρα (1 σερβοκινητήρας) και τα λάστιχα τα οποία κυμαίνονται σε μέγεθος (4 στον αριθμό).
- Û Το λογισμικό Gazebo είναι ένας δυναμικός τρισδιάστατος προσομοιωτής που δραστηριοποιείται σε λειτουργικό περιβάλλον Linux και υποβοηθάτε από το ROS. Την ευρεία χρήση του από τους χρήστες, το Gazebo, την οφείλει κυρίως, στο λογισμικό ανοιχτού κώδικα με το οποίο δομείται και λειτουργεί.
- Û Οι σημαντικότερες χαρακτηριστικές ιδιότητες οι οποίες συνοδεύουν την λειτουργία του Gazebo είναι η δυνατότητα προσομοίωση φυσικών χαρακτηριστικών και δυνάμεων, η μεγάλη σε όγκο βιβλιοθήκη που παρέχει ρομποτικού περιεχομένου δεδομένα, ο ισχυρός αριθμός πολλών τύπων αισθητήριων οργάνων και το εύκολο στην χρήση λειτουργικό και προγραμματιστικό περιβάλλον που κατέχει.
- Û Το λειτουργικό περιβάλλον προσομοίωσης Gazebo, έχει δημιουργηθεί με σκοπό του στοιχείου της ακρίβειας εντός των δυναμικών περιβαλλόντων που έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει και να συναντήσει μία ρομποτική κατασκευή.
- Û Οι βασικές εκδόσεις του Gazebo είναι το ROS Indigo μέσω της έκδοσης Gazebo V2. 2. Και το ROS Jade μέσω της έκδοσης Gazebo V4. 0.
- Û Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τα οποία παρέχει το λειτουργικό σύστημα Gazebo είναι το γεγονός ότι ο κάθε χρήστης έχει την δυνατότητα να ανάπτυξη με την συμβολή πραγματικών συνθηκών και δυνάμεων το δικό του μοντέλο ρομποτικής κατασκευής, η παροχή της δυνατότητας προσομοίωσης των ρομποτικών συσκευών και σε εξωτερικό αλλά και σε εσωτερικό περιβάλλον



λειτουργίας αυτής, τα χαρακτηριστικά της ακρίβειας των κινήσεων, της συνοχής των λειτουργιών καθώς και της άμεσης αλληλεπίδρασης με το φυσικό περιβάλλον, η κατοχή του μεγάλο αριθμό ανοιχτού κώδικα βιβλιοθήκες ρομποτικών δεδομένων, οι πολλές επιλογές σε σχέση με την απεικόνιση της προσομοίωσης, ο μεγάλος αριθμός αισθητηρίων οργάνων και το πολύ εύκολο και γρήγορο γραφικό περιβάλλον.

- Η εφαρμογή του λογισμικού προσομοίωσης Gazebo, έχει την δυνατότητα να πραγματοποιηθεί στις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιούνται και ως κεντρικό άξονα μελέτης τους, του αλγόριθμους, στην δημιουργία ρομποτικών μέσω μετακίνησης, στην δημιουργία ρομποτικών κατασκευών ανθρωποειδούς μορφής, στην δημιουργία και την σχεδίαση ρομποτικών κτηρίων, στην ανάπτυξη ρομποτικών βραχιόνων και στην δραστηριότητα δοκιμαστικής λειτουργίας διαφόρων ειδών παλινδρομήσεων τα οποία ανταποκρίνονται σε πραγματικά σενάρια και δυνάμεις.
- Τα πλεονεκτήματα που δημιουργούνται από την συνεργασία του ros και gazebo είναι η παροχή της επιπλέον δυνατότητας διεύρυνσης του αντίστοιχου κώδικα, με εμπλουτισμό των λειτουργιών που αφορούν τα κινητικά στοιχεία και την δομή της προσομοίωσης των ρομποτικών κατασκευών και η δυνατότητα λειτουργίας της εντολής `rqt_graph`.
- Όσον αφορά την αρχιτεκτονική του, το Gazebo, απαρτίζεται από δύο (2) κύριες διαδικασίες οι οποίες έχουν άμεση σύνδεση με τον Server και με τον πελάτη. Ο server έχει την δυνατότητα να παράγει δεδομένα αισθητήριων ικανοτήτων. Επίσης, ο server είναι εκτελέσιμος από `gzserver` ενώ οι βιβλιοθήκες που παρέχουν αφορούν την φυσική, τους αισθητήρες, την μετακίνηση και την αναγνώριση. Από την άλλη πλευρά, η διαδικασία του πελάτη, δίνει την δυνατότητα της επικοινωνίας και της σύνδεσης η οποία πραγματοποιείται μεταξύ του εκάστοτε χρήστη Gazebo και της προσομοίωσης που υλοποιείται. Η διαδικασία αυτή, εκτελείται από αρχεία τύπου `gzclient` ενώ οι βιβλιοθήκες αφορούν την μεταφορά και την απόδοση των δεδομένων.

## 5.2 Προτάσεις

Ορισμένες προτάσεις οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μελλοντικό χρόνο έτσι ώστε έχοντας ως κύριο άξονα την συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία, να μπορέσει ένας ακόμα φοιτητής να αναπτύξει ακόμα περισσότερο το θέμα των πλατφόρμων ρομποτικής προσομοίωσης είναι οι εξής ακολουθούμενες:

- Η διερεύνηση της περίπτωσης Player.
- Η ανάλυση του Stage.
- Η πρακτική εφαρμογή της περίπτωσης Gazebo.

## Βιβλιογραφία

Bruyninckx Herman (2008)., *Robotics software: The future should be open.*, I.E.E.E Robotics and Automation Magazine., Vol. (15)., Issue: 1.

Bruyninckx Herman., Klotzbucher Markus., Hachgeschwender Nico., Kraetzchmar Gerhard., Gherardi Luca., Brugali Davide (2013)., *The BRICS component model: a model – based development paradigm for complex robotics software systems.*, Published In: Proceeding., Portugal.

Bezivin J. (2005)., *On the unification power of models.*, Software and Systems Modeling., 4 (2)., pp. 172 – 188.

Brugali D., Shakhimardanov A. (2010)., *Component – based robotic engineering part ii: Systems and models.*, IEEE Robotics and Automation Magazine., 17 (1)., pp. 100 – 115.

Klotzbucher M., Soetens P., Bruyninckx H. (2010)., *Orocos rtt- lua: an execution environment for building real – time robotic domain specific languages.*, In International Workshop on Dynamic languages for Robotic and Sensors.

Quigley M., Conley K. Gerkey B.P., Faust J., Foote T., Leibs J., Wheeler R., Ng A.Y. (2009)., *ROS: on open – source robot operation system.*, In Proceedings of the workshop on open source software held at the international conference on robotics and automation.

Smits R., Bruyninckx H. (2011)., *Composition of complex robot applications via data flow integration.*, In ICRA., pp. 5576 – 5580.

Cheng S. Frank (2000)., *Design and optimization of cellular manufacturing systems: a methodology for developing robotic workcell simulation models.*, Publisher: WSC' 00.

Craig J.J (1997)., *Simulation – based robot cell design in AdeptRapid.*, In Proceedings of the 1997 I.E.E.E International Conference on Robotics and Automation., ICRA., Vol. (4)., pp. 3214 – 3219.

Knasinski A.B. (1997)., *Linking simulation to thereal world through robot metrology.*, In Proceedings of Robotic Simulation Off – Line Programming Workshop., Seattle., Washington.

Rooks B.W. (1997)., *Offline programming: a success for the automotive industry.*, Industrial Robot., 24 (1)., pp. 30 – 34.

Robots S. (2012)., *Programming – Robot Simulation.*, Available at: [http://www.societyofrobots.com/programming\\_robot\\_simulation.shtml](http://www.societyofrobots.com/programming_robot_simulation.shtml).

Gostai (2012)., *Why open source.*, Available at : <http://gostai.com/poduts/whyopensource/>.

Demaillie Akim., Boullie Jean – Christophe., Hocquet Quentin., Nottale Matthieu., Tardieu Samuel (2008)., *The URBI universal platform for robotics.*, Gostai R & D Lab.

Abd El – Gelier M., El – Khazendar M.A. (2003)., *Model reference based supervisory fuzzy logic controller for process control.*, Proceedings of the 22<sup>nd</sup> IASTED International Conference Modeling, I dentification and control., pp. 260 – 272.

Zenke Hideo (2009)., *Operation terminal and remote operation system for a robot.*, Mitsubishi Electric Corp.

Gabor Thoth., Darren L. De Zeeuw., Tamas E. Coombosi., Ward B. Manchester., Aaron J. Riddley., Igor V. Sokolov., Ilia I. Rousser (2007)., *Sun – to thermosphere simulation on the 28 – 30 October 2003 storm with the space weather modeling frameword.*, Space Weather: An Agu Journal.

Craig J. (2009)., *Εισαγωγή στη ρομποτική: Μηχανική και Αυτόματος έλεγχος.*, Εκδόσεις: Τζιόλα., 3<sup>η</sup> έκδοση.

Παλιούρας Αριστείδης., Γεωργούλια Ιουλία (2015)., *Εκπαιδευτική Ρομποτική.*, Εκδόσεις: Φυλάτος.

Βούκαλης Χ. Δημήτρης., Βούκαλη Δ. Ειρήνη (2006)., *Ρομποτική – Αυτόματα.*, Εκδόσεις: Σύγχρονη εκδοτική.

Κουμπούλης Ν. Φώτης., Μέρτζιος Γ. Βασίλης (2002)., *Εισαγωγή στη ρομποτική.*, Εκδόσεις: Παπασωτηρίου.

Εμίρης Μ. Δημήτρης., Κουλουριώτης Δημήτριος (2006)., *Ρομποτική.*, Εκδόσεις: Σέλκα – 4Μ Ε.Π.Ε.

Mataric J. Maja (2010)., *Βασικές αρχές ρομποτικής.*, Εκδόσεις: Κλειδάριθμος.

Δουλγέρη Ζωή (2007)., *Ρομποτική.*, Εκδόσεις: Κριτική.

Κανάραχος Ε. Ανδρέας (2001)., *Μηχανισμοί και ρομποτικά συστήματα.*, Εκδόσεις: Παπασωτηρίου.

Harris Adams., Canrad H. James (2011)., *Survey of popular robotics simulators, frameworks and toolkits.*, Publisher: IEEE.

Yang Jin Gil., Choi Wook Byoung (2013)., *Smooth trajectory planning along Bezier curve for mobile robots with velocity constraints.*, International of Control and Automation., Vol. (6)., No 2.

Ignacio Gonzalez Alonso., Mercedes Fernandez., Maestre M. Jose., Fuente Garcia Almudena Pilar Del Maria (2011)., *Service Robotics within the digital home.*, Publisher: Springer.

Michel Olivier (2004)., *Cyberbotics Ltd Webots: Professional Mobile Robot Simulation.*, International Journal of Advanced Robotic Systems., Vol. (1)., No (1)., pp. 39 – 42.

Michel Olivier (1998)., *Webots: Symbiosis between virtual and real mobile robots.*, International Conference on Virtual Worlds., pp. 254 – 263.

Yuri Lopez de Meneses., Olivier Michel (1998)., *Vision sensors on the webots simulator.*, International Conference on Virtual Worlds., pp. 264 – 273.

Weinberg Gill., Driscoll Scott (2007)., *The design of a perceptual and improvisational robotic marimba player.*, Publisher: IEEE.

Vaughan T. Richard., Gerkey P. Brian (2007)., *Reusable robot software and the player/stage project.*, Software Engineering for Experimental Robotics., pp. 267 – 289.

Hoa G. Ngumen., Morell John., Mullens D. Katherine., Burmeister B. Aaron., Miles Susan., Farrington Nathan., Thomas M. Karri., Gage W. Douglas (2004)., *Segway robotic mobility platform.*, Spie Digital Library.

Kyle Johns., Trevor Taylor (2009)., *Professional Microsofts Robotics Developer Studio.*, Publisher: wrox.

Jackson Jared (2007)., *Microsoft robotics studio: A technical introduction.*, IEEE.

Diankov R. (2010)., *Construction of robotics manipulation programs.*, The Robotics Institute., Caenegie Mellon University.

Diankov R. (2012)., *Openrave: Overview.*, Available at: <http://openrave.org/en/main/overview.html>.

Diankov R. (2012)., *IKfast : The robot kinematics compiler.*, Available at: <http://openrave.org/en/main/openravepy/ikfast.html#ikfast-the-robot-kinematics-compiler>.

Bobbert Daniel., Wolska Magdalena (2007)., *Dialog OS: an extensible platform for teaching spoken dialogue systems.*, Proceeding of the 11<sup>th</sup> Workshop on the Semantics and Pragmatics of Dialogue., Italy.

Suarez Martinez Bautista Juan., Ceballos Munoz David Nelson., Ospina Londono Nelson (2007)., *Configurable system for 3D simulation of mobile robotics. Development platform K++.*, Publisher: Revista de Ingeniera.

Carmen (2012)., Available at: <http://carmen.sourceforge.net/using-carmen.html>.

Ropsim (2012)., Available at: <http://www.camelot.dk/default.aspx>.

Hugues N. B. Louis (2007)., *Simbad: an autonomous robot simulation package foe education and research.*, Ginkgo networks., Paris.

Hugues Louis., Bredeche Nicolas (2006)., *Simbad: An autonomous robot simulation package for education and research.*, International Conference on Simulation of Adaptive Behavior.

Ayala Hilberto., Fu Yyjian (2017)., *Design and Implementation of bioloid Humanoid robot.*, IGI Global., Available at: <http://www.igi-global.com/chapter/design-and-implementation-of-bioloid-humanoid-robot/173337>

Thai C. N., Paulishen M. (2011)., *Using Robots Bioloid systems for instructional Robotics.*, I.E.E.E.

Blanco J. G., Fernandez – Madrigal J. A. (2006)., *Consistent observation grouping for generation metric – topological maps that improves robot localization.*, I.E.E.E.

Harris J. M. (2011)., *Surney of popular robotics simulators, frameworks and toolkits.*, I.E.E.E.

Characo B. L. J. (2010)., *Development of Scientific Applications with the mobile Robot programming toolkit.*, University of Malaga.

Tura Z. R., Szederkeryi G. (2010)., *Developing an integrated software environment for mobile robot navigation and control.*, International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation.

Montemerlo M., Roy N., Thrun S. (2003)., *Perspectives on standardization in mobile robot programming: The Carnegie mellon navigation (CARMEN) toolkit.*, I.E.E.E.

Barnes J. D. (2002)., *Teaching introductory Java through Lego Mindstroms models.*, Sigcse proceeding of the 33<sup>rd</sup> sigcse technical symposium on computer science education., pp. 147 – 151.

Klassner F. (2002)., *A case study of Lego Mindstronus, suitability for artificial intelligence and robotics courses at the college level.*, Proceedings of the 33<sup>rd</sup> Sigcse technical symposium on computer science education., pp. 8 – 12.

Seung H. K., Jae W. J. (2007)., *Programming Lego Mindstroms NXT with visual programming.*, I.E.E.E.

Schweikardt E., Gross D. M. (2006)., *roBlocks: a robotic construction kit for mathematics and science education.*, Proceedings of the 8<sup>th</sup> International Conference on Multimodal Interfaces., pp. 72 – 75.

Bagnall B. (2012)., *Maximum Lego NXT: Building Robots with Java Brains.*, Variant Press., 3<sup>rd</sup> edition.

Koenig N., Haward A. (2004)., *Design and use paradigms for Gazebo, An Open – Source Multi – Robot Simulator.*, Proceedings I.E.E.E, International Conference on Intelligent Robots and Systems., Los Angeles.

Gazebo (2018) – Επίσημη ιστοσελίδα., Διαθέσιμη στο: <http://gazebosim.org/>

Wei Q., Zeyang X., Jing X., Yangzhou G.I, Yangzhou G., Yangzhou G., Shaokui W., Hao D., Ying H., Jiankvei Z. (2014)., *Manipulation task simulation using ROS and Gazebo.*, IEEE., International Conference on Robotics and Biomimetics., Bali., Indonesia.

Shimizu M., Koenig N., Visser A., Takahashi T. (2015)., *A realistic robocup rescue simulation based on Gazebo.*, Robot World Cup XIX., pp. 331 – 339.

Khoa D. N., Cheolkeun H. (2018)., *Development of Hardware – in – the – Loop Simulation based on Gazebo and pixhawk for unmanned aerial vehicles.*, International Journal of Aeronautical and Space Sciences., pp. 238 – 251.

Sokolov M., Lavrenov R., Gabdullin A., Afanasyer I., Magid E. (2016)., *3D modeling and simulation of a crawler robot in ROS / Gazebo.*, Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Conference on Control., Mechatronics and Automation., Spain., pp. 61 – 65.