



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»

«Advanced Control Systems and Robotics»

«Ανάπτυξη Λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας για
Ρομποτικά Συστήματα Συναρμολόγησης Μηχανισμών και
Μεταφοράς Αντικειμένων»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα
Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως
μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα
Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

Χαρίλαο Κουλιάκη

Μάρτιος 2023



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»
«Advanced Control Systems and Robotics»

«Ανάπτυξη Λογισμικού Εικονικής Πραγματικότητας για
Ρομποτικά Συστήματα Συναρμολόγησης Μηχανισμών και
Μεταφοράς Αντικειμένων»

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

που υποβλήθηκε στο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής» του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών ως μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στα Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής

από τον

Χαρίλαο Κουλιάκης

Δήλωση Αυθεντικότητας, ζητήματα **Copyright**

«Ο μεταπτυχιακός φοιτητής που εκπόνησε την παρούσα διπλωματική εργασία φέρει ολόκληρη την ευθύνη προσδιορισμού της δίκαιης χρήσης του υλικού, η οποία ορίζεται στη βάση των εξής παραγόντων: του σκοπού και χαρακτήρα της χρήσης (μη-εμπορικός, μη-κερδοσκοπικός, αλλά εκπαιδευτικός-ερευνητικός), της φύσης του υλικού που χρησιμοποιεί (τμήμα του κειμένου, πίνακες, σχήματα, εικόνες κ.λπ.), του ποσοστού και της σημαντικότητας του τμήματος που χρησιμοποιεί σε σχέση με το όλο κείμενο υπό copyright, και των πιθανών συνεπειών της χρήσης αυτής στην αγορά ή την γενικότερη αξία του υπό copyright κειμένου».

Μάρτιος 2023

«Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή η οποία ορίστηκε από την Συνέλευση του Γενικού Τμήματος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του ΠΜΣ *«Προηγμένα Συστήματα Ελέγχου και Ρομποτικής»*». Τα μέλη της Επιτροπής ήταν:

1. Νικόλαος Δ. Κούβακας, Αναπληρωτής Καθηγητής(Επιβλέπων)
2. Φώτιος Ν. Κουμπουλής, Καθηγητής..... (Μέλος)
3. Δημήτριος Γ. Φραγκούλης.....(Μέλος)

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Γενικό Τμήμα του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα.

Περίληψη

Στις μέρες μας γινόμαστε ολοένα και περισσότερο εξαρτώμενοι από την τεχνολογία και τις εφαρμογές της. Τα ρομπότ μπορεί να τα συναντάμε ως επί το πλείστον σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, αλλά αυτό αναμένεται να αλλάξει άρδην στο μέλλον καθώς οι νεότερες γενιές εξοικειώνονται ολοένα και περισσότερο με την επιστήμη, την τεχνολογία, την μηχανική και την μηχανική (STEM). Αυτή η εξοικείωση δεν θα γίνει τυχαία αλλά θα είναι προϊόν της εκπαίδευσης STEM. Ένα από τα αποτελέσματα της εκπαίδευσης STEM θα είναι και η περαιτέρω ανάπτυξη ρομποτικών εφαρμογών και υλοποιήσεων. Αυτή η ανάπτυξη θα γίνει με την βοήθεια λογισμικών εικονικής πραγματικότητας για ρομποτικά έργα.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η σχετική βιβλιογραφία με ανασκόπηση αντιπροσωπευτικών πακέτων λογισμικών εικονικής πραγματικότητας για ρομποτικά έργα. Θα παρουσιαστούν οι αρχές και οι παράμετροι της λειτουργίας τους. Στα πλαίσια αυτά, θα γίνει υλοποίηση προγραμματιστικά ενός ελεγκτή ρομποτικού βραχίονα Webots UR5E. Στο Webots το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί έναν εξαιρετικά ευέλικτο ρομποτικό βραχίονα και περιέχει ενσωματωμένους αισθητήρες δύναμης (force sensors). Το περιβάλλον WEBOTS υποστηρίζει τις γλώσσες προγραμματισμού C, C++, Java, Python και MATLAB. Θα παρουσιάσουμε το λογισμικό και θα δείξουμε πως αυτό λειτουργεί και μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη ρομποτικών εφαρμογών και υλοποιήσεων καθώς και στην εκπαίδευση STEM. Κλείνοντας την εργασία θα παραθέσουμε τα συμπεράσματά μας και θα προτείνουμε μελλοντικές επεκτάσεις / εργασίες που μπορούν να γίνουν.

Λέξεις κλειδιά: συναρμολόγηση, μεταφορά αντικειμένων, εικονική πραγματικότητα, ρομποτικά συστήματα, Webots

Abstract

Nowadays we are becoming more and more dependent on technology and its applications. Robots can be found mostly in industrial installations, but this is expected to change drastically in the near future as the next generations become more and more familiar with science, technology, engineering and engineering (STEM). This familiarization will not come by accident, but will come as an outcome of STEM training. One of the results of STEM training will be the further development of robotic applications and its' appliances. This development will take place with the help of virtual reality software for robotic projects.

In this thesis, the relevant literature will be presented with a review of representative virtual reality software packages for robotic projects. The principles and parameters of their operation will be presented. In this context, we will do an extensive bibliographic review on the issues of education, STEM and robotics. Furthermore, we will make a search virtual reality software for robotic applications with an emphasis on Webots software. Webots is an open source robot simulator. We will present this software and we will present how it works and how it can help in the development of robotic applications as well as in STEM training. Finally, we will present our conclusions and suggest future works that can take place.

Keywords: assembly, object transportation, virtual reality, robotic systems, Webots

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής υλοποιήθηκε με την υποστήριξη ενός αριθμού ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου. Πρώτα από όλους θα θέλαμε να αναφερθούμε στην οικογένειά μου για την συνεχή και αδιάκοπη υποστήριξη της και ιδιαίτερα στον αδελφό μου, που πρώτος απ' όλους, πίστεψε σ' εμένα, όλα αυτά τα χρόνια που διάρκεσε η σπουδαστική μου ιδιότητα.

Στην συνέχεια, ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, κ. Κούβακα Νικόλαο, για την αμέριστη υποστήριξη και υπομονή του κατά την διάρκεια της υλοποίησης της διπλωματικής.

Τέλος να αναφέρουμε ότι η παρούσα εργασία είναι προϊόν δικής μου προσπάθειας και δεν αποτελεί αντίγραφο από κάποια άλλη παρόμοιου θέματος.

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Βασικές Έννοιες	1
1.2 Διάρθρωση Εργασίας	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	6
2.1 Εκπαίδευση.....	6
2.2 STEM.....	8
2.2.1 Ορισμός του STEM	8
2.2.2 Προσφορά Εκπαίδευσης STEM	10
2.2.3 Ο Σχεδιασμός στην Εκπαίδευση STEM	12
2.3 Ρομποτική	13
2.3.1 Ιστορική Αναδρομή	13
2.3.2 Εποχή Βιομηχανικών Ρομπότ	15
2.3.3 Δημιουργία Ρομποτικής	18
2.3.4 Εκπαιδευτική Ρομποτική	20
2.4 STEM και Ρομποτική στην Εκπαίδευση	22
2.4.1 Συμβολή Ρομποτικής στην Εκμάθηση STEM Θεμάτων	22
2.4.2 Παροχή Οπτικών και Πρακτικών Δραστηριοτήτων	23
2.4.3 Επίλυση Προβλημάτων.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΕΡΓΑ	25
3.1 Λογισμικά Εικονικής Πραγματικότητας για Ρομποτικά Έργα	26
3.1.1 Προσομοιωτές Ανοιχτού Κώδικα και Εργαλεία.....	27
3.1.2 Εμπορικοί Προσομοιωτές Ρομποτικής	35
3.2 Webots	39
3.2.1 Παρουσίαση	39
3.2.2 Παραδείγματα Ρομποτικών Βραχιόνων	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	64

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Εικόνα 1, Μοντέλο αυθεντικής ενσωμάτωσης (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012)	9
Εικόνα 2, Ο κύκλος εκμάθησης επιστημών βασισμένος στο σχεδιασμό (Krajcika & Delenb, 2017).....	12
Εικόνα 3, Αποστολές βιομηχανικών ρομπότ στη Βόρεια Αμερική σε εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (Craig, 2005).....	14
Εικόνα 4, Ετήσιες εγκαταστάσεις βιομηχανικών ρομπότ πολλαπλών χρήσεων για τα έτη 1995-2000 και προβλέψεις για το 2001-2004 (Craig, 2005)	14
Εικόνα 5, Οι τιμές ρομπότ σε σύγκριση με το ανθρώπινο κόστος εργασίας τη δεκαετία του 1990 (Craig, 2005)	15
Εικόνα 6, Γενική τάση του κόστους κατασκευής έναντι του μεγέθους της παρτίδας (Asada, 2005).....	16
Εικόνα 7, Παράδειγμα μηχανικού βραχίονα (Asada, 2005)	17
Εικόνα 8, Εισαγωγική οθόνη SARGE	31
Εικόνα 9, Στιγμιότυπο Microsoft Robotics Developer Studio.....	35
Εικόνα 10, Στιγμιότυπο Marilou από anyCode	36
Εικόνα 11, Προσομοιωτής Webots	37
Εικόνα 12, Στιγμιότυπο robotSim Pro	38
Εικόνα 13, Στάδια που συνθέτουν ένα έργο ρομποτικής χρησιμοποιώντας Webots (Mordenti, 2012).....	40
Εικόνα 14, Γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης Webots (Mordenti, 2012).....	42
Εικόνα 15, Εγκατάσταση και έλεγχος πακέτου ROS 2 (automaticaddison, 2021).....	44
Εικόνα 16, Εγκατάσταση Webots (automaticaddison, 2021)	44
Εικόνα 17, Ολοκλήρωση εγκατάστασης Webots (automaticaddison, 2021).....	45
Εικόνα 18, Παράδειγμα ρομποτικού βραχίονα UR5e (Lukić, 2021).....	47
Εικόνα 19, Παράδειγμα ρομποτικού βραχίονα IRB 4600 (Lukić, 2021)	47
Εικόνα 20, Παράδειγμα με ρομποτικούς βραχίονες UR5e and IRB 4600 (Lukić, 2021).....	48
Εικόνα 21, Παράδειγμα με ρομποτικούς βραχίονες UR3e και UR5e (Lukić, 2021).....	49
Εικόνα 22, Θέση εκκίνησης - άποψη από πάνω	50
Εικόνα 23, Ολοκλήρωση της πρώτης κίνησης.....	50
Εικόνα 24, Ολοκλήρωση της τέταρτης κίνησης	51
Εικόνα 25, Ολοκλήρωση της έκτης κίνησης.....	51
Εικόνα 26, Ολοκλήρωση της όγδοης κίνησης	51
Εικόνα 27, Τελική θέση	52
Εικόνα 28, Δημιουργία νέου controller.....	53
Εικόνα 29, Επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Βασικές Έννοιες

Το STEM διαπερνά τη ζωή μας. Η τεχνολογία κινητής τηλεφωνίας είναι ένα μόνο παράδειγμα για το πώς το STEM επηρεάζει τις ζωές μας και πόσο διαφορετική θα ήταν η ζωή μας αν η τεχνολογία αυτή αφαιρεθεί, πώς λειτουργεί το Wi-Fi, πώς είναι δυνατόν τα κινητά μας τηλέφωνα να μεταδίδουν πληροφορίες ήχου και βίντεο σε τόσο μεγάλες αποστάσεις, πώς παρέχουμε την απαραίτητη ενέργεια για αυτές τις συσκευές, κ.λ.π.. Άλλες κρίσιμες ιδέες STEM περιλαμβάνουν το πώς μπορούμε να μειώσουμε τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην κοινωνία μας και να βιώσουμε ακόμα τις πολλές ανέσεις του 21ου αιώνα, όπως τα ταξίδια με αυτοκίνητο και αεροπλάνο. Επίσης, νέες ανακαλύψεις στην επιστήμη, την τεχνολογία, τη μηχανική και την ιατρική έχουν βελτιώσει τη ζωή μας. Στις 13 Απριλίου 2016, οι New York Times ανέφεραν ότι ένας τετραπληγικός νεαρός άνδρας ανέκτησε κάποιο έλεγχο της κίνησης στο δεξί του χέρι και στα δάχτυλά του χρησιμοποιώντας τεχνολογία που μπορεί να μεταδώσει τις σκέψεις του στους μυς του χεριού και των δακτύλων. Η τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένου ενός τσιπ που εμφυτεύεται στον εγκέφαλο του ανθρώπου που συνδέεται από έναν υπολογιστή με ένα μανίκι στο χέρι του, του επιτρέπει να ρίχνει από ένα μπουκάλι και να ανακατεύει χρησιμοποιώντας ένα άχυρο. Αυτή η ανακάλυψη απαιτούσε τις συνεργατικές προσπάθειες ατόμων από διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της επιστήμης των υπολογιστών, της βιοτεχνολογίας και της ιατρικής. Αυτά τα άτομα χρειάζονται μια βαθιά και πρακτική γνώση σε αυτούς τους τομείς, καθώς και τη φαντασία και τη δημιουργικότητα της δημιουργίας νέων ιδεών (Krajcika & Delenb, 2017).

Αν και οι νέες εξελίξεις στους επιμέρους τομείς του STEM (γενετική, νανοεπιστήμη, τεχνολογία νευροεπιστημών και μηχανική) προσφέρουν ευκαιρίες για τη βελτίωση των ανθρώπινων συνθηκών, αυτές και άλλες επιστημονικές και τεχνολογικές ανακαλύψεις έχουν επίσης οδηγήσει σε πληθώρα παγκόσμιων προκλήσεων, όπως η ρύπανση των υδάτων, ανησυχίες για την υγεία που σχετίζονται με την παχυσαρκία, την αλλαγή του κλίματος και τις ηθικές ανησυχίες σχετικά με τα γενετικά τροποποιημένα τρόφιμα. Επιπλέον, η επαγγελματική για τα περισσότερα παιδιά που ζουν σήμερα θα απαιτήσει πρακτική γνώση του STEM, την ικανότητα συνεργασίας με άλλους και την ικανότητα επίλυσης προβλημάτων, λήψης αποφάσεων και καινοτομίας. Κάθε παιδί θα πρέπει να αναπτύξει μια βαθιά και ουσιαστική

γνώση του STEM είτε σκοπεύει να εισέλθει στο χώρο εργασίας STEM είτε σκοπεύει να εισέλθει σε άλλα επαγγέλματα. Στον σημερινό κόσμο, δεν μπορούμε να ξεφύγουμε από τη χρήση του STEM (Krajcika & Delenb, 2017).

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η γνώση της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών (STEM) είναι απαραίτητη για το μέλλον ενός βιώσιμου πλανήτη. Η εκπαίδευση STEM πρέπει να διασφαλίσει ότι το εργατικό δυναμικό είναι έτοιμο για τις προκλήσεις και τις ευκαιρίες του μέλλοντος και ότι θα ζήσουμε σε έναν βιώσιμο κόσμο. Ο Evan Heit, διευθυντής του τμήματος εκπαίδευσης και ανθρώπινου Δυναμικού του τμήματος Έρευνας για την εκπαίδευση και του ανθρώπινου δυναμικού των ΗΠΑ, δήλωσε ότι «Η πιο αποτελεσματική εκπαίδευση STEM απαιτεί μια βαθύτερη κατανόηση του πώς μαθαίνουν οι άνθρωποι από την παιδική ηλικία έως την ενηλικίωση». Επιπλέον, οι απαιτήσεις της ζωής στον 21ο αιώνα θα απαιτήσουν από τα άτομα να έχουν μια βαθιά / εύχρηστη γνώση επιστημονικών και μηχανολογικών ιδεών και πρακτικών, καθώς και τη δημιουργικότητα για την επίλυση προβλημάτων. Επιπλέον, θα απαιτηθούν δυνατότητες επικοινωνίας και κριτικής σκέψης για την εφαρμογή ιδεών STEM (Krajcika & Delenb, 2017).

Έχουν προταθεί πολλοί ορισμοί για αυτό που ονομάζουμε ρομπότ. Η λέξη μπορεί να δημιουργήσει διάφορα επίπεδα τεχνολογικής πολυπλοκότητας, που κυμαίνονται από μια απλή συσκευή χειρισμού υλικού έως ένα ανθρωποειδές. Η εικόνα των ρομπότ ποικίλλει σημαντικά από ερευνητές, μηχανικούς και κατασκευαστές ρομπότ. Ωστόσο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι τα σημερινά ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες προήλθαν από την εφεύρεση μιας προγραμματισμένης συσκευής χειρισμού υλικών από τον George C. Devol. Το 1954 ο Devol υπέβαλε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ για ένα νέο μηχάνημα για μεταφορά μερικών και ισχυρίστηκε τη βασική ιδέα της διδασκαλίας / αναπαραγωγής για τον έλεγχο της συσκευής. Αυτό το σχήμα χρησιμοποιείται πλέον εκτενώς στα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ (Asada, 2005).

Η ρομποτική, που είναι ένας από τους βασικούς πυλώνες του STEM, ορίζεται ως ο κλάδος της επιστήμης που μελετά εκείνες τις μηχανές που μπορούν να αντικαταστήσουν τους ανθρώπους κατά την εκτέλεση μιας εργασίας, η οποία συνδυάζει τη φυσική δραστηριότητα με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων. Ωστόσο, η ρομποτική από τα τέλη της δεκαετίας του 1980, ξεκινώντας εκτός Ελλάδας, έχει χρησιμοποιηθεί στην εκπαίδευση τόσο ως διδακτικό μάθημα, αλλά και ως βοηθητικό εργαλείο στη διδασκαλία διαφόρων εννοιών θεμάτων όπως

μαθηματικά, επιστήμες, μηχανική καθώς και τεχνολογία και επιστήμη των υπολογιστών (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Εκτός από τη διδασκαλία ορισμένων εννοιών η ρομποτική χρησιμοποιείται και για την επίτευξη δεξιοτήτων όπως είναι η επίλυση προβλημάτων, η συγκεκριμένη και αφηρημένη συλλογιστική, η κριτική σκέψη και η αποτελεσματική συνεργασία. Για να είναι λειτουργικό ένα ρομποτικό σύστημα απαιτούνται δύο τύποι δραστηριοτήτων η κατασκευή και ο προγραμματισμός. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται γνωστικές διαδικασίες και εμφανίζονται δεξιότητες όπως η υπολογιστική σκέψη που υποστηρίζουν τους μαθητές για την επίλυση αυθεντικών προβλημάτων στο σχολικό περιβάλλον καθώς και στην πραγματική ζωή. Η επίλυση προβλημάτων είναι μια απαιτητική διαδικασία η οποία καλεί τον μαθητή να ασχοληθεί με τη λογική, τη σημασιολογία και μερικές φορές με την αφηρημένη σκέψη προκειμένου να συλλάβει και να λύσει το πρόβλημα. Επιπλέον, η διαδικασία κατασκευής του ρομποτικού συστήματος και ο προγραμματισμός του συμβάλλουν στην κοινωνικοποίηση του μαθητή μέσω της συνεργασίας για την υλοποίηση των δραστηριοτήτων (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Ένας από τους σκοπούς της εκπαιδευτικής ρομποτικής είναι να βελτιώσει την ικανότητα των μαθητών προσχολικής ηλικίας να αποκτήσουν γνώσεις και δεξιότητες μέσω προγραμματισμού και ανάπτυξης ρομπότ. Οι μαθητές φαίνεται να αναπτύσσουν γνωστικές και κοινωνικές δεξιότητες χρησιμοποιώντας κατάλληλα εκπαιδευτικά ρομπότ. Αυτή είναι η σύνδεση των παιδιών με ρομπότ, τα οποία πολλές φορές τα παιδιά αντιμετωπίζουν ως κατοικίδια ζώα και τους δίνουν ψευδώνυμα. Συνήθως, η εκπαιδευτική ρομποτική καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ηλικιών και γνωστικών απαιτήσεων. Είναι ενδιαφέρον ότι πρόσφατες ερευνητικές μελέτες έχουν δείξει ότι η εκπαιδευτική ρομποτική έχει θετικό αντίκτυπο ακόμη και σε παιδιά με γνωστικές και σωματικές αναπηρίες (Tselegkaridis & Sapounidis, 2021).

Οι προσομοιωτές έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί για εκπαιδευτική ρομποτική, από μαθήματα προώθησης απλών κινηματικών για παιδιά με Lego Mindstorms, έως και προχωρημένα μαθήματα για φοιτητές όπως το RobotCraft. Ιδιαίτερα, οι προσομοιωτές για την έρευνα και το STEM έχουν δημιουργηθεί για πολλά χρόνια ως ένας εναλλακτικός τρόπος μάθησης με ρομπότ προωθώντας τη γνώση μέσω του gamification. Ενώ τα ρομπότ φυσικής εκπαίδευσης αποτελούνται σε μεγάλο βαθμό από υλικό που δεν είναι πάντα εύκολο στη μεταφορά, οι προσομοιωτές αποτελούνται εξ ολοκλήρου από λογισμικό που μπορεί εύκολα να

μεταφερθεί από τόπο σε τόπο. Αυτό αυξάνει τη φορητότητα και επιτρέπει στους μαθητές να αλληλεπιδρούν με τη ρομποτική σε οποιοδήποτε μέρος και ώρα, εφόσον διαθέτουν υπολογιστή ή tablet. Δυστυχώς, οι προσομοιωτές βασίζονται σε GUI και πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι η χρήση ενός GUI δημιουργεί δυσκολίες και περιορισμούς στην αλληλεπίδραση και τη συνεργασία των μαθητών και δείχνει μια πιο θετική στάση απέναντι σε άλλους τύπους διεπαφών, όπως το ενσώματο περιβάλλον χρήστη. Αν και είναι αρκετά δύσκολο να απεικονιστούν με ακρίβεια οι πραγματικές συνθήκες της σύνθετης διαδικασίας με έναν προσομοιωτή, οι προσομοιωτές για εικονικά ρομπότ θεωρούνται ιδιαίτερα κατάλληλη μέθοδος όταν δεν είναι διαθέσιμα πραγματικά ρομπότ. Παρόμοια με τα εικονικά εργαστήρια, οι προσομοιωτές ενδέχεται να μειώσουν το κόστος και να έχουν αποδείξει την αξία τους στην εκπαιδευτική διαδικασία αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα, την αφοσίωση και ταυτόχρονα φαίνεται να εκτιμώνται από τους μαθητές (Tselegkaridis & Sapounidis, 2021).

Μερικά παραδείγματα εφαρμογών για εκπαιδευτικούς προσομοιωτές ρομποτικής είναι οι Khepera Simulator, USARSim και TRIK Studio. Το Khepera, είναι ένας προσομοιωτής που είτε οδηγεί ένα εικονικό ρομπότ Khepera είτε προγραμματίζει ένα πραγματικό με γλώσσα προγραμματισμού C / C ++. Χρησιμοποιώντας τον προσομοιωτή οι χρήστες μπορούν να προγραμματίσουν ένα εικονικό ή πραγματικό ρομπότ για να ακολουθούν γραμμές και να αποφεύγουν εμπόδια μέσω υπερύθρων αισθητήρων. Το USARSim έχει πολλές περισσότερες δυνατότητες και χρησιμοποιεί πολλούς εικονικούς αισθητήρες, όπως σόναρ, RFID και touch. Αυτός ο προσομοιωτής επιτρέπει στον χρήστη να αναπτύξει διάφορα σενάρια προσομοίωσης, με τροχοφόρα οχήματα, υποβρύχια ή ακόμα και ανθρωποειδή. Από την άλλη πλευρά, το TRIK Studio έχει τη δυνατότητα να προγραμματίζει ρομπότ με οπτικά διαγράμματα ή γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου. Για την ανάπτυξη προσομοιωτών, οι προγραμματιστές χρησιμοποιούν συχνά πλατφόρμες γενικής χρήσης, όπως τα MATLAB και Processing ή πλατφόρμες ρομποτικής ανοιχτού κώδικα όπως το Gazebo, το V-REP και άλλες. Τόσο το Gazebo όσο και το V-REP έχουν 3D δυναμικό περιβάλλον πολλαπλών ρομπότ. Επιπλέον, ο προσομοιωτής V-REP φαίνεται να είναι πιο φιλικός προς το χρήστη από το Gazebo, ενώ το Gazebo είναι πιο απαιτητικός σε υλικό από το V-REP (Tselegkaridis & Sapounidis, 2021).

Μαζί με τους προσομοιωτές επιτραπέζιων υπολογιστών, επίσης η εκπαιδευτική κοινότητα χρησιμοποιεί διαδικτυακούς προσομοιωτές, μερικοί από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι (Tselegkaridis & Sapounidis, 2021):

- το Open Roberta Lab, το οποίο είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού που εισάγει τα παιδιά σε ρομποτικά συστήματα,
- το Tinkercad, το οποίο περιλαμβάνει προσομοίωση για ηλεκτρονικά εξαρτήματα,
- το MakeCode για το Lego Mindstorms, το οποίο προγραμματίζει Lego Mindstorms με μπλοκ ή JavaScript,
- το Snap4Arduino, το οποίο βασίζεται σε μπλοκ και υποστηρίζει πολλές πλακέτες Arduino και
- το OzoBlockly, που βασίζεται σε μπλοκ και προσομοιώνει ρομπότ Ozobot.

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα εργασία έχει αναπτυχθεί σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, το οποίο είναι αυτό που βρισκόμαστε τώρα, γίνεται μία αναλυτική παράθεση των όρων που εξετάζουμε στην παρούσα εργασία. Σκοπός είναι να αυτού του κεφαλαίου είναι να μυήσει τον αναγνώστη της εργασίας στο πως οι επόμενες γενιές μέσω της εκπαίδευσης STEM θα μπορούν να αναπτύσσουν και να είναι εξοικειωμένες με τις ρομποτικές εφαρμογές και τις υλοποιήσεις τους. Στο επόμενο κεφάλαιο, το δεύτερο κατά σειρά, θα εξεταστούν αναλυτικά κατά σειρά οι όροι της εκπαίδευσης, του STEM και της ρομποτικής. Αυτό το κεφάλαιο θα κλείσει με την ενότητα που θα πραγματευέται το πως η ρομποτική μέσω της εκπαίδευσης STEM θα μπει στην ζωή των μαθητών. Το τρίτο κεφάλαιο είναι αυτό που θα εμβαθύνει στο κύριο στόχο της εργασίας ο οποίος δεν είναι άλλος από την αναλυτική παρουσίαση του λογισμικού webots. Η πρώτη ενότητα αυτού του κεφαλαίου είναι αφιερωμένη στα λογισμικά εικονικής πραγματικότητας για ρομποτικές εφαρμογές. Στην δεύτερη και τελευταία ενότητα αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστεί εκτενώς το λογισμικό webots και μέσω αυτού το ρομποτικό μας έργο με την βοήθεια του κώδικα Matlab. Η εργασία θα κλείσει με το τέταρτο κεφάλαιο στο οποίο θα εκθέσουμε αναλυτικά τα συμπεράσματά μας και θα αναφέρουμε τις μελλοντικές επεκτάσεις που μπορούν να γίνουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εκπαίδευση

Όχι πολύ καιρό πριν στην ΕΣΣΔ και τη Ρωσία ίσχυε ο ακόλουθος ορισμός για την εκπαίδευση «Η εκπαίδευση είναι η κοινωνικά οργανωμένη και ρυθμιζόμενη διαδικασία συνεχούς μεταφοράς της κοινωνικά σημαντικής εμπειρίας από τις προηγούμενες γενιές στις επόμενες. Ο κύριος τρόπος για να λάβει κάποιος εκπαίδευση είναι να παρακολουθήσει ένα πρόγραμμα κατάρτισης στο σύστημα των εκπαιδευτικών ιδρυμάτων.». Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό η εκπαίδευση είναι η διαδικασία μετάδοσης και λήψης γνώσεων και αυτό που βλέπουμε στις περισσότερες αίθουσες διδασκαλίας είναι σε άριστη συμφωνία με αυτήν τη διατύπωση. «Ποιος δεν είναι έτοιμος για το μάθημα; Ποιος δεν ετοίμασε την εργασία του; », ρωτάει συνήθως ένας δάσκαλος. Στις προηγούμενες ερωτήσεις εμφανίζεται στα πρόσωπα των μαθητών ένα μείγμα έκπληξης και συμπάθειας προς τον δάσκαλο. «Τι λέει? Τι δουλειά στο σπίτι; Ήρθαμε εδώ για να λάβουμε μια μεταφορά. Έχετε μεταφορά; Εάν ναι, δώστε μας! Εάν όχι, αφήστε μας μόνους!» (Naziev, 2017).

Κύριος στόχος της εκπαίδευσης είναι η συνολική ανάπτυξη της προσωπικότητας του ατόμου. Ωστόσο, στην βιβλιογραφία έχουν ήδη αναφερθεί ελαττώματα αυτού του στόχου της γενικής εκπαίδευσης καθώς είναι μη ιστορική, μη πραγματική (δεν είναι πραγματικό να αναπτύσσουμε όλες τις πλευρές της προσωπικότητας ενός ατόμου, ιδίως επειδή δεν είναι όλες είναι γνωστές) και δεν είναι επαληθεύσιμες (είναι αδύνατο να εξακριβωθεί εάν έχουν αναπτυχθεί ή όχι όλες οι πλευρές της προσωπικότητας). Μπορούμε όμως να προσθέσουμε σε αυτόν τον κατάλογο ελαττωμάτων ένα ακόμη ελάττωμα το οποίο είναι πιο σημαντικό από όλα τα αναφερόμενα μαζί «η ολοκληρωμένη ανάπτυξη της προσωπικότητας είναι επικίνδυνη τόσο για το άτομο όσο και για την κοινότητα» (Naziev, 2017).

Για να γίνει αυτό αντιληπτό θυμηθείτε ότι πριν από αρκετά χρόνια σχεδόν κάθε εβδομάδα μαθαίναμε για νέες ανακαλύψεις στον χάρτη των γονιδίων του ανθρώπου. Τότε μαθαίναμε ότι υπάρχει το γονίδιο του αλκοολισμού, το γονίδιο της σκληρότητας, το γονίδιο της αυτοκτονίας, κ.λ.π. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν άνθρωποι που έχουν τη γενετική προδιάθεση για τον αλκοολισμό, τη σκληρότητα, την αυτοκτονία, κ.ο.κ.. Συνεπώς, μπορούμε αφού έχουμε μάθει όλα αυτά να θέσουμε ως κύριο στόχο της γενικής εκπαίδευσης την σφαιρική ανάπτυξη της προσωπικότητας; Η απάντηση είναι σαφέστατα όχι. Αντίθετα, θα πρέπει να

σκεφτούμε ποιες πλευρές της ατομικότητας αξίζουν να αναπτυχθούν και ποιες όχι (Naziev, 2017).

Ανεξάρτητα ποια πλευρά της ατομικότητας ενός ανθρώπου πρόκειται να αναπτυχθεί κατά την εκπαιδευτική διαδικασία, η εκπαιδευτική διαδικασία ανά τους αιώνες στοχεύει στην «δημιουργία» ηθικών ανθρώπων. Ο λειτουργικός ορισμός της ηθικής δόθηκε μόλις στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα από τον Ρώσο μαθηματικό A. D. Aleksandron και είναι ο εξής: «Η ηθική μπορεί να οριστεί εν συντομία ως μια οργανική ένωση των τριών συστατικών: ανθρωπότητα, ευθύνη και αφοσίωση στην αλήθεια». Κάποιος μπορεί να υποστηρίξει ότι στον παραπάνω ορισμό δεν λαμβάνονται υπόψη όλες οι ιδιότητες της ηθικής, αλλά κανείς δεν θα αρνηθεί ότι οι παραπάνω ιδιότητες είναι ουσιαστικά συστατικά της ηθικής. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι η εκμάθηση των μαθηματικών συμβάλλει αποφασιστικά στη διαμόρφωση και ανάπτυξη καθεμιάς από αυτές τις τρεις ιδιότητες. Με την αφοσίωση στην αλήθεια όλα είναι αρκετά προφανή. Για να είμαστε αφοσιωμένοι στην αλήθεια, πρέπει πρώτα απ' όλα να γνωρίζουμε την αλήθεια. Αλλά τι σημαίνει «να ξέρεις» / «να γνωρίζεις», σημαίνει «να πειστεί κάποιος με τη βοήθεια απόδειξης», όπως έχει χαρακτηριστικά αναφέρει ο Αριστοτέλης (Naziev, 2017).

Συνεπώς, η αφοσίωση στην αλήθεια συνεπάγεται την ανάγκη για την απόδειξη, η οποία σχηματίζεται / δημιουργείται κατά τη διδασκαλία των μαθηματικών. Με αυτό το τρόπο η τελευταία από τις ιδιότητες της ηθικής συνδέεται άμεσα με την ανάγκη δημιουργίας αποδείξεων κατά τη διδασκαλία των μαθηματικών. Με λίγα λόγια η ευθύνη δημιουργεί δεσμεύσεις. Είναι σαφές ότι είναι αδιανόητο χωρίς τη συνήθεια του ανθρώπου να διασφαλίζει συνεχώς ότι τα λόγια και οι πράξεις του συμμορφώνονται με αυτές τις υποχρεώσεις, δηλαδή ρητά ή σιωπηρά να αποδεικνύει στον εαυτό του ότι αυτή η δέσμευση ισχύει. Όπως βλέπουμε το δεύτερο συστατικό της ηθικής είναι επίσης σε άμεση σχέση με τη διδασκαλία των μαθηματικών (Naziev, 2017).

Με βάσει όσα έχουν παρατεθεί μέχρι στιγμής, κάποιος που έχει λάβει στοιχειώδη εκπαίδευση έχει διδαχθεί μαθηματικά, που είναι ένας από τους πυλώνες του STEM, στην προσπάθεια της εκπαιδευτικής διαδικασίας να δημιουργήσει ηθικούς ανθρώπους. Συνεπώς, η πλειονότητα των «μορφωμένων» ανθρώπων της εποχής μας έχουν σε μικρότερη ή μεγαλύτερο βαθμό κάποια κατανόηση του STEM και εμβάθυνση σε αυτό, για το οποίο θα μιλήσουμε αναλυτικότερα στην επόμενη παράγραφο.

2.2 STEM

2.2.1 Ορισμός του STEM

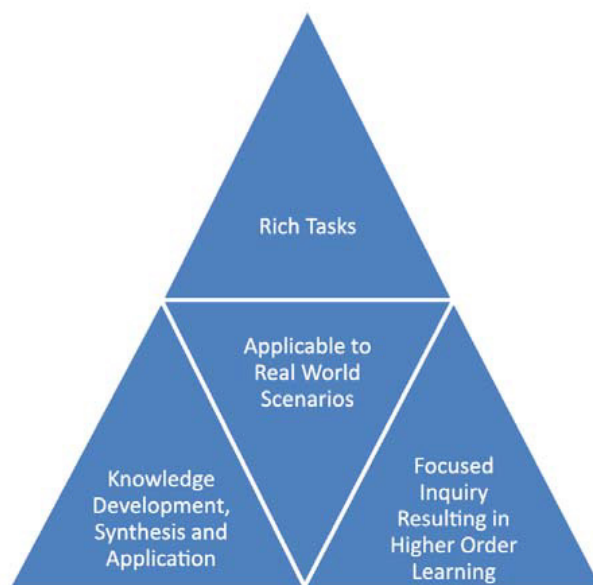
Στην απλούστερη μορφή του το STEM είναι το αρκτικόλεξο για τους τέσσερις ανεξάρτητους κλάδους της επιστήμης, της τεχνολογίας, της μηχανικής και των μαθηματικών, που συχνά περιλαμβάνουν παραδοσιακά μαθήματα. Αυτή η μορφή του STEM αντικατοπτρίζεται στον τρόπο με τον οποίο το Αυστραλιανό πρόγραμμα σπουδών είναι δομημένο με ξεχωριστούς θεματικούς τομείς για καθέναν από τους κλάδους με εξαίρεση τη μηχανική, το οποίο εξετάζεται έμμεσα στα Αυστραλιανά προγράμματα σπουδών επιστήμης και τεχνολογίας. Στις ΗΠΑ η μηχανική περιλαμβάνεται στα Επιστημονικά Πρότυπα Επόμενης Γενιάς. Το STEM αναγνωρίζεται ρητά μαζί με τη βιοεπιστήμη, τη φυσική επιστήμη και τη γη και τη διαστημική επιστήμη (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

Η εφαρμογή ενός σχολικού προγράμματος σπουδών σε επιστημονικά πεδία που είναι διακριτά μεταξύ τους, περιορίζει τις ευκαιρίες των μαθητών να αναπτύξουν δεξιότητες που στον 20^ο αιώνα θεωρούνται απαραίτητες για να εκμεταλλευτούν τις ευκαιρίες σταδιοδρομίας του μέλλοντος. Ο επαναπροσδιορισμός των θεματικών περιοχών και η συλλογική αναφορά τους μέσω της χρήσης του αρκτικόλεξου STEM διατηρεί μόνο τις «εκπαιδευτικές πρακτικές του status quo που έχουν μονοπωλήσει την εκπαίδευση για έναν αιώνα» και δεν οδηγεί σε αλλαγές στις εκπαιδευτικές πρακτικές. Εναλλακτικά προτείνεται το STEM να μπορεί να είναι «πειθαρχία» από μόνο του. Αυτή η άποψη είναι ιδεαλιστική και είναι πιθανό να προκαλέσει μεγάλη κριτική, αλλά εγείρει το ερώτημα «Πρέπει το STEM να είναι μια πειθαρχία σε ένα πρόγραμμα σπουδών;» Από κάποιου θεωρείται ότι αυτό δεν είναι βιώσιμο. Ένας από τους λόγους που παρατίθενται είναι η απαίτηση από τους εκπαιδευτικούς να έχουν επαρκή γνώση του εκπαιδευτικού περιεχομένου καθώς και πλούσια παιδαγωγική γνώση και στους τέσσερις κλάδους του STEM. Η μη επίτευξη αυτών των απαιτήσεων μπορεί να οδηγήσει σε ανεπαρκή γνώση σε ορισμένες περιοχές, η οποία ενδέχεται να επηρεάσει αρνητικά την ικανότητα των εκπαιδευτικών να εφαρμόσουν ολοκληρωμένες παιδαγωγικές προσεγγίσεις με ουσιαστικούς τρόπους (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

Το STEM από εξ' ορισμού είναι διεπιστημονικό επειδή αποτελείται από άλλους κλάδους. Ορισμένοι αντιλαμβάνονται τον διεπιστημονικό χαρακτήρα του STEM ως «μια ολιστική προσέγγιση που συνδέει τους ατομικούς κλάδους, έτσι ώστε η μάθηση να συνδέεται, να επικεντρώνεται, να έχει νόημα και να σχετίζεται με τους μαθητές». Μια συμπληρωματική αλλά διαφορετική ολιστική άποψη προτείνει «η εκπαίδευση STEM να αναφέρεται στην

επίλυση προβλημάτων που βασίζονται σε έννοιες και διαδικασίες από τα μαθηματικά και την επιστήμη και παράλληλα να ενσωματώνει τη μεθοδολογία ομαδικής εργασίας και σχεδίασης της μηχανικής και χρησιμοποιώντας την κατάλληλη τεχνολογία». Αυτή η άποψη αξιοποιεί τα χαρακτηριστικά κάθε κλάδου με αλληλοσυνδεδεμένο τρόπο (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

Επίσης, προτείνεται και μία άλλη αλληλένδετη ολοκληρωμένη προσέγγιση, η αυθεντική ενσωμάτωση. Αυτό το μοντέλο υποστηρίζεται από τέσσερα κύρια χαρακτηριστικά: ανάπτυξη γνώσης, σύνθεση και εφαρμογή (εστιασμένη έρευνα που οδηγεί σε μάθηση υψηλότερης τάξης), εφαρμογή σε σενάρια πραγματικού κόσμου και πλούσιες εργασίες (Εικόνα 1). Αυτό το μοντέλο ισχύει για τους μεμονωμένους κλάδους του STEM καθώς και για την ενοποιητική έννοια του STEM. Επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά υποστηρίζει τα άλλα χαρακτηριστικά και δεν βασίζεται στις διερευνητικές διαδικασίες και στους τρόπους εργασίας που ισχύουν για συγκεκριμένους κλάδους (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).



Εικόνα 1, Μοντέλο αυθεντικής ενσωμάτωσης (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012)

Άλλες έννοιες του STEM δεν βασίζονται στη δημιουργία συνδέσεων και στις τέσσερις κατηγορίες συλλογικά. Προτείνουν την πραγματοποίηση συνδέσεων μεταξύ οποιωνδήποτε δύο ή περισσότερων κλάδων του STEM ή μεταξύ πειθαρχίας στο STEM και ενός ή περισσότερων άλλων σχολικών μαθημάτων ακολουθώντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση. Αυτή η άποψη δίνει στους εκπαιδευτικούς την ελευθερία να εφαρμόσουν το STEM μέσω των επιστημονικών

κλάδων με τους οποίους είναι πιο εξοικειωμένοι, αλλά δεν διασφαλίζει ότι όλοι οι κλάδοι θα εξεταστούν επαρκώς. Ανεξάρτητα από το βαθμό ενσωμάτωσης των κλάδων, ο κύριος στόχος είναι να υποστηρίξει τη μάθηση των μαθητών στους τομείς παραδοσιακού περιεχομένου και να βοηθήσει τους μαθητές να συνδέσουν περιεχόμενο και έννοιες από τους κλάδους του STEM για να δημιουργήσουν νέες γνώσεις (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

2.2.2 Προσφορά Εκπαίδευσης STEM

Η ενσωμάτωση των θεμάτων που άπτονται του STEM στο χώρο της εκπαίδευσης και όχι μόνο υποστηρίζεται από πολλούς, καθώς θεωρείται ως ένας τρόπος να προσελκυστούν μαθητές σε προβλήματα πραγματικού κόσμου και να βελτιώσουν τη μεταφορά γνώσεων. Επίσης, παρέχονται αποτελεσματικοί τρόποι εκμάθησης των μαθηματικών σε ουσιαστικά πλαίσια και προωθείται η χρήση πρακτικών δραστηριοτήτων που συνδέονται με πραγματικά προβλήματα. Ένα πιθανό προϊόν μιας ολοκληρωμένης εκπαίδευσης STEM περιγράφεται ως εξής «Με την βοήθεια του STEM καλλιεργείται ένα άτομο που έχει επαρκείς γνώσεις και δεξιότητες και στους τέσσερις τομείς για να συμμετάσχει και να ευδοκιμήσει στη σύγχρονη κοινωνία με αυτοπεποίθηση και ικανότητα να χρησιμοποιεί, να διαχειρίζεται και να αξιολογεί τις τεχνολογίες που επικρατούν στην καθημερινή ζωή. Επίσης, αυτό το άτομο έχει και την ικανότητα κατανόησης επιστημονικών αρχών και τεχνολογιών που είναι απαραίτητες διαδικασίες για την επίλυση προβλημάτων, την ανάπτυξη επιχειρημάτων και τη λήψη αποφάσεων.» (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

Είναι πολύ επιθυμητό για τους μαθητές να αναπτύξουν αυτές τις δυνατότητες, οι οποίες είναι ανάλογες με τις προσδοκίες των προγραμμάτων σπουδών των περισσότερων χωρών. Αναφέρεται ότι οι ολοκληρωμένες προσεγγίσεις βελτιώνουν το ενδιαφέρον και τη μάθηση των μαθητών στο STEM, αλλά υπάρχουν λίγα στοιχεία σχετικά με την αποτελεσματικότητα των ποικίλων ολοκληρωμένων προσεγγίσεων. Εξαίρεση αποτελεί μια ανάλυση 98 μελετών που προσδιορίστηκαν ως διερεύνηση των επιπτώσεων των ολοκληρωμένων προσεγγίσεων μεταξύ των ατόμων που έλαβαν εκπαίδευση STEM. Αυτή η ανάλυση περιελάμβανε μια σύνθεση των αποτελεσμάτων που αναφέρθηκαν για επτά τύπους ολοκλήρωσης: E-M-ST, E-S-T, E-T, M-S-T, E-M, E-S, M-S, S-T. Τα αποτελέσματα για τους διαφορετικούς τύπους ολοκλήρωσης διέφεραν σημαντικά. Η ολοκλήρωση των τεσσάρων επιστημονικών κλάδων, το E-M-S-T, έδειξε μεγάλο μέγεθος αποτελεσματικότητας (1,76), ενώ το μέγεθος της αποτελεσματικότητας

για την ενσωμάτωση της μηχανικής και των μαθηματικών (E-M) ήταν μικρό (0,03). Επίσης, χαμηλό ήταν το μέγεθος του αποτελέσματος για τα μαθηματικά (0,23) κατά την ενσωμάτωση των μαθηματικών, της επιστήμης και της τεχνολογίας (M-S-T). Μια μελέτη που ενσωμάτωσε την τεχνολογία και την επιστήμη στο γυμνάσιο είχε πολύ μεγάλο μέγεθος αποτελεσματικότητας (2,80). Διάφοροι ερευνητές προτείνουν ότι «οι τύποι ολοκλήρωσης μπορεί να είναι ο βασικός παράγοντας που επηρεάζει τις επιπτώσεις των ολοκληρωμένων προσεγγίσεων μεταξύ των θεμάτων που άπτονται του STEM» (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

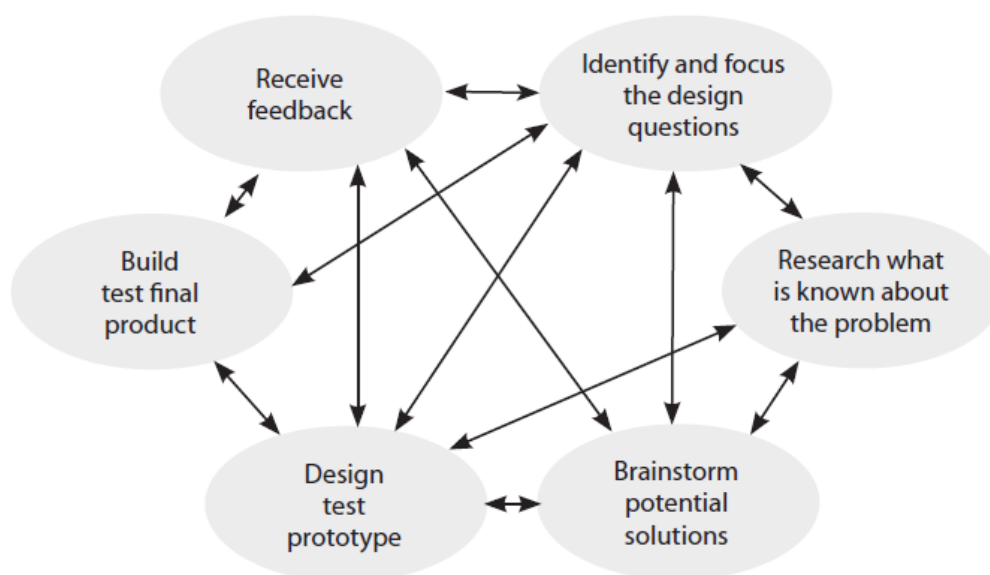
Σε διάφορες έρευνες έχει εντοπιστεί ότι το μέγεθος του αποτελέσματος για την πρωτοβάθμια εκπαίδευση ήταν μεγαλύτερο από ό, τι στην δευτεροβάθμια εκπαίδευση και στα κολλέγια. Οι ευέλικτες δομές σχολείων και τάξεων στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση διευκολύνουν την εφαρμογή ολοκληρωμένων προσεγγίσεων. Οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να επωφεληθούν από τη μοναδική ευκαιρία που προσφέρεται για να τονώσουν το ενδιαφέρον των μαθητών για το STEM όσο το δυνατόν νωρίτερα στην εκπαίδευσή τους. Ωστόσο, δεν υπάρχουν επαρκής εξηγήσεις γιατί τα μεγέθη των αποτελεσμάτων για τα μαθηματικά ήταν χαμηλά στις ολοκληρωμένες μελέτες STEM. Αυτό αφήνει τους λόγους για τα χαμηλά αποτελέσματα ανοιχτά σε κερδοσκοπίες. Μεταξύ άλλων λόγων, τα χαμηλά αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται στην έλλειψη γνώσης περιεχομένου εκπαιδευτικών ή λόγω έλλειψης εστίασης στα μαθηματικά (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι τα αποτελέσματα των ερευνών πρέπει να διαβάζονται με προσοχή, ειδικά στις περιπτώσεις που υπάρχουν αναφορές ότι ο αριθμός των μελετών που περιλαμβάνονται θεωρείται χαμηλός για τέτοιου είδους αναλύσεις. Η εκτεταμένη έρευνα που πραγματοποιήθηκε σε αντίστοιχη περίπτωση, αποκάλυψε ότι πολλές μελέτες δεν ανέφεραν το επίτευγμα των μαθητών στα μαθηματικά. Για παράδειγμα, μια μελέτη μαθητών K-5, περιγράφει ένα σχολικό πρόγραμμα που υλοποίησε εργασίες που επικεντρώθηκαν στη διαδικασία σχεδιασμού μηχανών. Ο συγγραφέας υπογραμμίζει τα μαθηματικά αποτελέσματα που στοχεύουν σε κάθε δραστηριότητα, όπως η μέτρηση του ύψους και των γωνιών στη δραστηριότητα λαβύρινθος Laser Light, αλλά δεν περιγράφει λεπτομερώς τα συγκεκριμένα αποτελέσματα του προγράμματος σπουδών που αναφέρονται, ούτε υπάρχουν αναφορές σχετικά με το επίτευγμα των μαθητών σύμφωνα με αυτά τα μαθηματικά αποτελέσματα. Σε αυτή τη μελέτη αναφέρονται μαθησιακά κέρδη στα επιτεύγματα των μαθηματικών που υπερβαίνουν τους μέσους όρους των περιοχών που διεξήχθησαν, αλλά δεν παρέχονται

συγκεκριμένες λεπτομέρειες σχετικά με αυτό το επίτευγμα ή τον τρόπο προσδιορισμού των αποτελεσμάτων. Επίσης, αναφέρεται ότι «οι εκπαιδευτικοί παρατηρούν τη μεταφορά από τα μαθήματα μηχανικής στα μαθηματικά». Αυτό συνεπάγεται ότι οι μαθητές κερδίζουν πολλά από τις δραστηριότητες, αλλά απαιτούνται περισσότερα στοιχεία για να πειστεί η εκπαιδευτική κοινότητα ότι μια ολοκληρωμένη προσέγγιση σχεδιασμού μηχανικής στην εκπαίδευση STEM θα επηρεάσει θετικά την εκμάθηση των μαθηματικών (STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer?, 2012).

2.2.3 Ο Σχεδιασμός στην Εκπαίδευση STEM

Η συμμετοχή των μαθητών στο STEM σημαίνει επίσης την προσέλκυση μαθητών στη διαδικασία σχεδιασμού. Ο σχεδιασμός είναι αναπόσπαστο μέρος της σκέψης των μαθητών στον κόσμο του STEM. Ο σχεδιασμός είναι ένας μοναδικός τρόπος σκέψης και είναι κρίσιμος για τους μαθητές της κοινωνίας μας. Ο σχεδιασμός εμπλέκει τους μαθητές στην εξεύρεση λύσεων σε προβλήματα. Η διαδικασία σχεδιασμού που περιγράφεται στην Εικόνα 2 παρέχει μια οπτικοποίηση της διαδικασίας σχεδιασμού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε σχολεία. Κεντρικό στοιχείο αυτής της διαδικασίας σχεδιασμού είναι οι μαθητές να διατυπώνουν και να προσδιορίζουν σαφώς το πρόβλημα σχεδιασμού, να διερευνούν τι είναι γνωστό για το πρόβλημα, να δημιουργούν πιθανές λύσεις, να αναπτύσσουν πρωτότυπα σχέδια (αντικείμενα) για να επιδείξουν τις λύσεις τους, και να μοιράζονται και να λαμβάνουν σχόλια από τους συμμαθητές τους και άλλα γνωστά άτομα (Krajcika & Delenb, 2017).



Εικόνα 2, Ο κύκλος εκμάθησης επιστημών βασισμένος στο σχεδιασμό (Krajcika & Delenb, 2017)

Η διαδικασία σχεδιασμού είναι μη γραμμική και επαναληπτική στη φύση της. Αν και η διαδικασία σχεδιασμού ξεκινά συχνά με τον εντοπισμό ενός προβλήματος, η διαδικασία μπορεί στη συνέχεια να κινηθεί προς πολλές κατευθύνσεις από εκείνο το σημείο και μετά. Μόλις οι μαθητές εντοπίσουν ένα πρόβλημα, θα μπορούσαν να λάβουν σχόλια σχετικά με το πρόβλημα του σχεδιασμού ή θα μπορούσαν να ερευνήσουν τη φύση του προβλήματος. Μόλις οι εκπαιδευόμενοι συλλέξουν πληροφορίες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν αυτές τις πληροφορίες για να προσδιορίσουν με μεγαλύτερη σαφήνεια το πρόβλημα σχεδιασμού τους. Αυτή η περιγραφή του προβλήματος σχεδιασμού είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό μιας κατάλληλης λύσης. Μόλις καθοριστεί το πρόβλημα σχεδιασμού, οι ομάδες σχεδιασμού θα δημιουργήσουν πολλές πιθανές λύσεις. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία προσομοιώσεων υπολογιστών ή δοκιμών πρωτοτύπων για να διαπιστωθεί εάν πληρούνται τα κριτήρια επίλυσης του προβλήματος. Ως αποτέλεσμα της δημιουργίας και της δοκιμής ενός πρωτοτύπου, οι μαθητές θα ασχοληθούν με την ανάλυση δεδομένων για να δουν αν το πρωτότυπο πληροί τα κριτήρια του έργου. Τα ευρήματα από τη δοκιμή του πρωτοτύπου μπορεί να ενθαρρύνουν τους μαθητές να κάνουν περισσότερη έρευνα για το έργο, το οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει σε σαφέστερο προσδιορισμό του προβλήματος (Krajcika & Delenb, 2017).

Η διαδικασία σχεδιασμού είναι πολύ επαναληπτική στη φύση. Οι περισσότεροι μαθητές δεν έχουν συνηθίσει να συμμετέχουν σε μια επαναληπτική διαδικασία και θα απογοητευτούν. Όλα τα πετυχημένα προϊόντα και λύσεις προκύπτουν από επαναληπτικό σχεδιασμό. Αυτή η επαναληπτική διαδικασία εξαρτάται από τους μαθητές που λαμβάνουν ανατροφοδότηση από τις δοκιμές και τις αναλύσεις, αλλά και από τα σχόλια που λαμβάνονται από συνομηλίκους τους και άλλα γνωστά άτομα. Είναι συχνά δύσκολο να λαμβάνεις σχόλια, αλλά αυτό είναι που δημιουργεί ένα καλό τελικό προϊόν (Krajcika & Delenb, 2017).

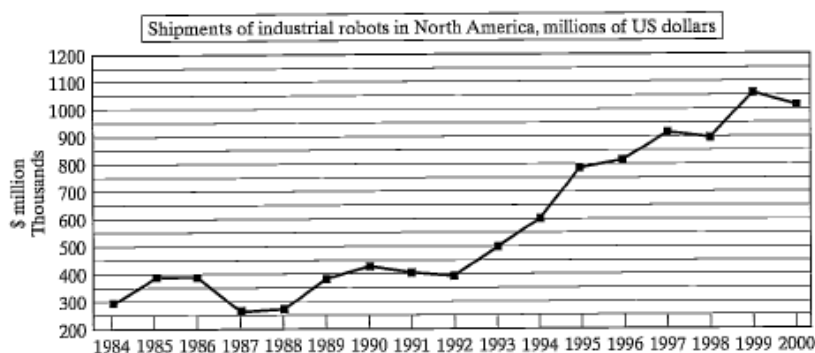
2.3 Ρομποτική

2.3.1 Ιστορική Αναδρομή

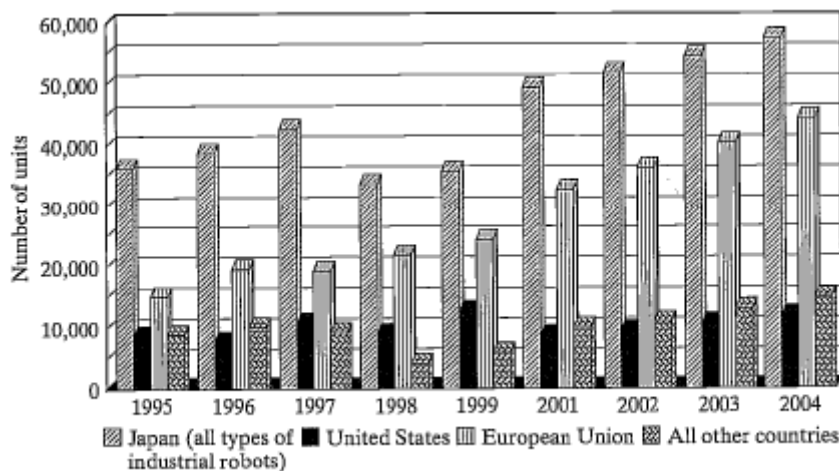
Η ιστορία του βιομηχανικού αυτοματισμού χαρακτηρίζεται από περιόδους ταχείας αλλαγής σε δημοφιλείς μεθόδους. Είτε ως αιτία, είτε ίσως ως αποτέλεσμα, τέτοιες περίοδοι αλλαγής στις τεχνικές αυτοματισμού φαίνεται να συνδέονται στενά με την παγκόσμια οικονομία. Η χρήση του βιομηχανικού ρομπότ, το οποίο έγινε αναγνωρίσιμο ως μοναδική συσκευή στη δεκαετία του 1960, μαζί με συστήματα σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD, Computer Aided Design) και συστήματα κατασκευής με τη βοήθεια υπολογιστή (CAM, Computer Aided

Manufacturing), χαρακτηρίζει τις τελευταίες τάσεις στην αυτοματοποίηση της κατασκευαστικής διαδικασίας. Αυτές οι τεχνολογίες οδηγούν τη βιομηχανική αυτοματοποίηση μέσω μιας άλλης μετάβασης, η έκταση της οποίας είναι άγνωστη προς το παρόν (Craig, 2005).

Στη Βόρεια Αμερική υπήρξε μεγάλη υιοθέτηση ρομποτικού εξοπλισμού στις αρχές της δεκαετίας του 1980, ακολουθούμενη από μια σύντομη ανατροπή στα τέλη της δεκαετίας του 1980. Από τότε η αγορά αναπτύσσεται συνεχώς (βλέπε Εικόνα 3), αν και υπόκειται σε οικονομικές μεταβολές, όπως και όλες οι άλλες αγορές άλλωστε. Η Εικόνα 4 δείχνει τον αριθμό των ρομπότ που εγκαθίστανται ετησίως στις μεγάλες βιομηχανικές περιοχές του κόσμου. Σημειώστε ότι η Ιαπωνία αναφέρει αριθμούς κάπως διαφορετικά από τον τρόπο που κάνουν άλλες περιοχές, καθώς μετρούν ορισμένα μηχανήματα ως ρομπότ που σε άλλα μέρη του κόσμου δεν θεωρούνται ρομπότ (σε αυτές τις χώρες θεωρούνται απλώς ως «εργοστασιακά μηχανήματα»). Συνεπώς, οι αριθμοί που αναφέρθηκαν για την Ιαπωνία είναι κάπως διογκωμένοι (Craig, 2005).

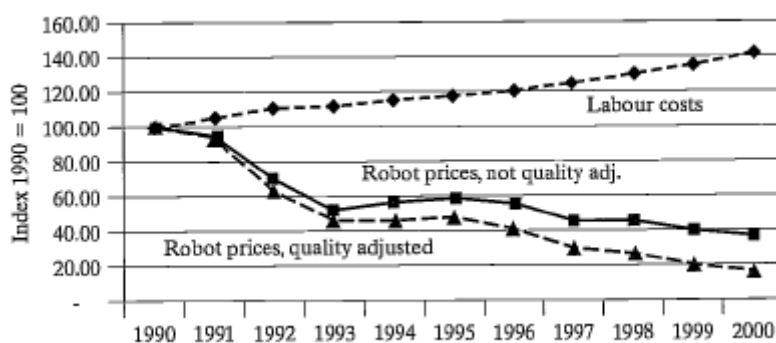


Εικόνα 3, Αποστολές βιομηχανικών ρομπότ στη Βόρεια Αμερική σε εκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ (Craig, 2005)



Εικόνα 4, Ετήσιες εγκαταστάσεις βιομηχανικών ρομπότ πολλαπλών χρήσεων για τα έτη 1995-2000 και προβλέψεις για το 2001-2004 (Craig, 2005)

Ένας σημαντικός λόγος για την αύξηση της χρήσης βιομηχανικών ρομπότ είναι το μειωμένο κόστος τους. Η Εικόνα 5 δείχνει ότι κατά τη δεκαετία της δεκαετίας του 1990 οι τιμές των ρομπότ μειώθηκαν, ενώ το κόστος της ανθρώπινης εργασίας αυξήθηκε. Επίσης, τα ρομπότ δεν γίνονται απλώς φθηνότερα, αλλά γίνονται πιο αποτελεσματικά, γρηγορότερα, ακριβέστερα και πιο ευέλικτα. Εάν λάβουμε υπόψη αυτές τις προσαρμογές ποιότητας στους αριθμούς, το κόστος χρήσης ρομπότ μειώνεται ακόμη πιο γρήγορα από την τιμή τους. Καθώς τα ρομπότ γίνονται πιο οικονομικά αποδοτικά στις δουλειές τους και καθώς η ανθρώπινη εργασία συνεχίζει να γίνεται ακριβότερη, όλο και περισσότερες βιομηχανικές θέσεις εργασίας γίνονται υποψήφιες για ρομποτικό αυτοματισμό. Αυτή είναι η πιο σημαντική τάση που προωθεί την ανάπτυξη της βιομηχανικής αγοράς ρομπότ. Μια δευτερεύουσα τάση, πέρα από τα ζητήματα κόστους, είναι ότι τα ρομπότ γίνονται πιο ικανά, και είναι σε θέση να κάνουν όλο και περισσότερες εργασίες που θα μπορούσαν να είναι επικίνδυνες ή αδύνατες για τους ανθρώπους (Craig, 2005).



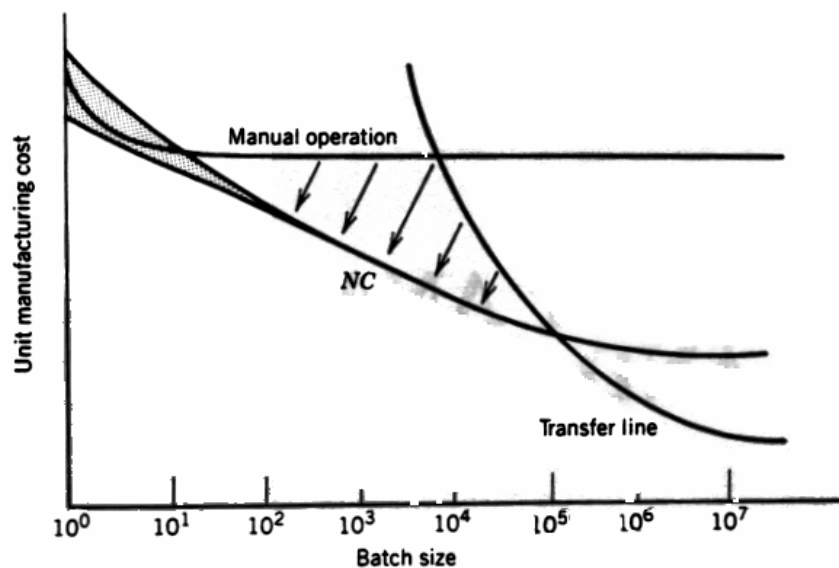
Εικόνα 5, Οι τιμές ρομπότ σε σύγκριση με το ανθρώπινο κόστος εργασίας τη δεκαετία του 1990 (Craig, 2005)

Οι εφαρμογές που εκτελούν τα βιομηχανικά ρομπότ γίνονται σταδιακά πιο εξελιγμένες, αλλά φαίνεται ότι το 2000 περίπου το 78% των ρομπότ που εγκαταστάθηκαν στις ΗΠΑ ήταν ρομπότ συγκόλλησης ή χειρισμού υλικών. Ένας πιο απαιτητικός τομέας, η συναρμολόγηση από βιομηχανικό ρομπότ, αντιπροσώπευε το 10% των εγκαταστάσεων (Craig, 2005).

2.3.2 Εποχή Βιομηχανικών Ρομπότ

Τα βιομηχανικά ρομπότ του Devol έχουν την προέλευσή τους σε δύο προηγούμενες τεχνολογίες: τον αριθμητικό έλεγχο για τις εργαλειομηχανές και τον απομακρυσμένο χειρισμό. Ο αριθμητικός έλεγχος είναι ένα σχήμα για τη δημιουργία ενεργειών ελέγχου βάσει αποθηκευμένων δεδομένων. Τα αποθηκευμένα δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν δεδομένα συντεταγμένων σημείων στα οποία πρόκειται να μετακινηθεί το μηχάνημα, σήματα ρολογιού για έναρξη και διακοπή λειτουργίας και λογικές δηλώσεις για διακλαδώσεις ακολουθιών ελέγχου. Ολόκληρη η ακολουθία λειτουργιών και οι παραλλαγές της δημιουργούνται και

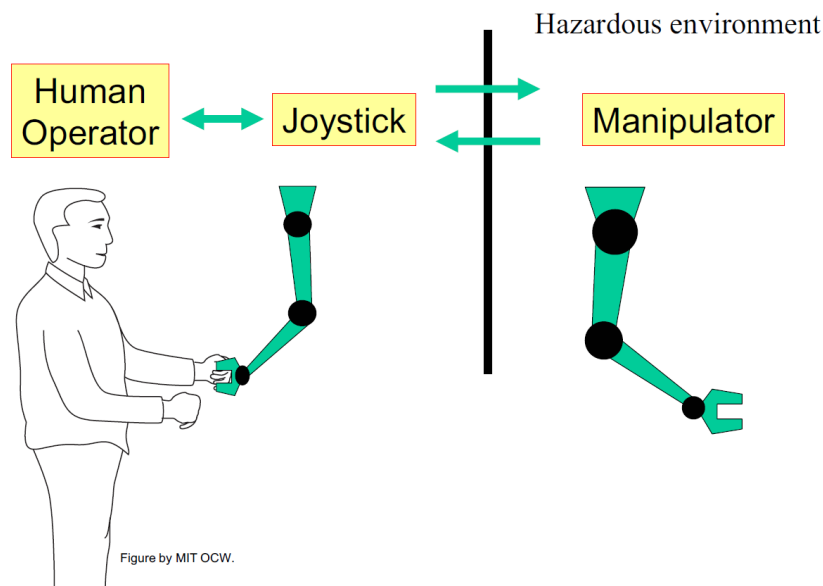
αποθηκεύονται σε μια μορφή μνήμης, έτσι ώστε να μπορούν να εκτελούνται διαφορετικές εργασίες χωρίς να απαιτούνται σημαντικές αλλαγές υλικού. Τα σύγχρονα συστήματα παραγωγής πρέπει να παράγουν μια ποικιλία προϊόντων σε μικρές παρτίδες, παρά έναν μεγάλο αριθμό των ίδιων προϊόντων για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς οι συχνές αλλαγές των μοντέλων προϊόντων και των χρονοδιαγραμμάτων παραγωγής απαιτούν ευελιξία στο κατασκευαστικό σύστημα. Η προσέγγιση της γραμμής μεταφοράς, η οποία είναι πιο αποτελεσματική για τη μαζική παραγωγή, δεν είναι κατάλληλη όταν απαιτείται τέτοια ευελιξία (βλέπε Εικόνα 6). Όταν απαιτείται μια σημαντική αλλαγή προϊόντος μια γραμμή παραγωγής ειδικού σκοπού καθίσταται άχρηστη και συχνά καταλήγει να εγκαταλείπεται, παρά τη μεγάλη επένδυση κεφαλαίου που είχε γίνει αρχικά. Ο ευέλικτος αυτοματισμός υπήρξε κεντρικό ζήτημα στην καινοτομία κατασκευής για μερικές δεκαετίες και ο αριθμητικός έλεγχος έχει διαδραματίσει κεντρικό ρόλο στην αύξηση της ευελιξίας του συστήματος. Τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ είναι προγραμματιζόμενα μηχανήματα που μπορούν να εκτελούν διαφορετικές λειτουργίες απλά τροποποιώντας αποθηκευμένα δεδομένα, ένα χαρακτηριστικό που έχει εξελιχθεί από την εφαρμογή του αριθμητικού ελέγχου (Asada, 2005).



Εικόνα 6, Γενική τάση του κόστους κατασκευής έναντι του μεγέθους της παρτίδας (Asada, 2005)

Μια άλλη προέλευση των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ μπορεί να βρεθεί σε απομακρυσμένους χειριστές. Ένας απομακρυσμένος χειριστής είναι μια συσκευή που εκτελεί μια εργασία από απόσταση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιβάλλοντα στα οποία οι εργαζόμενοι δεν μπορούν εύκολα ή με ασφάλεια να έχουν πρόσβαση, π.χ. για χειρισμό ραδιενεργών υλικών, ή σε ορισμένες εφαρμογές που εκτελούνται π.χ. σε βαθιά νερά, στο

διάστημα, κ.λ.π.. Το πρώτο σύστημα χειριστή αναπτύχθηκε το 1948. Η ιδέα περιλαμβάνει έναν ηλεκτροκίνητο μηχανικό βραχίονα εγκατεστημένο στη θέση λειτουργίας και ένα χειριστήριο χειρισμού γεωμετρίας παρόμοιο με αυτό του μηχανικού βραχίονα (βλέπε Εικόνα 7) Το χειριστήριο έχει μετατροπείς θέσης σε μεμονωμένες αρθρώσεις που μετρούν την κίνηση του ανθρώπινου χειριστή καθώς κινεί την άκρη του χειριστηρίου. Με αυτό το τρόπο η κίνηση του χειριστή μετατρέπεται σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία μεταδίδονται στον μηχανικό βραχίονα και προκαλούν την ίδια κίνηση με αυτήν που έκανε ο ανθρώπινος χειριστής. Το χειριστήριο που χειρίζεται ο χειριστής ονομάζεται «master manipulator», ενώ ο μηχανικός βραχίονας ονομάζεται «slave manipulator», καθώς η κίνησή του είναι ιδανικά το αντίγραφο της εντολής του χειριστή. Ένας χειριστής έχει συνήθως έξι βαθμούς ελευθερίας για να επιτρέψει στον βραχίονα να εντοπίσει ένα αντικείμενο σε αυθαίρετη θέση και προσανατολισμό. Οι περισσότερες αρθρώσεις είναι περιστρεφόμενες και ολόκληρη η μηχανική κατασκευή είναι παρόμοια με αυτήν του ανθρώπινου βραχίονα. Αυτή η αναλογία με τον ανθρώπινο βραχίονα προκύπτει από την ανάγκη αναπαραγωγής ανθρώπινων κινήσεων. Επιπλέον, αυτή η δομή επιτρέπει επιδερμικές κινήσεις σε ένα ευρύ φάσμα χώρων εργασίας κάτι που είναι επιθυμητό για εργασίες σε σύγχρονα συστήματα παραγωγής (Asada, 2005).



Εικόνα 7, Παράδειγμα μηχανικού βραχίονα (Asada, 2005)

Τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ διατηρούν κάποια ομοιότητα στη γεωμετρία με τον ανθρώπινο βραχίονα και τους απομακρυσμένους χειριστές. Επιπλέον, οι βασικές τους έννοιες έχουν εξελιχθεί πέρα από αυτές του αριθμητικού ελέγχου και του απομακρυσμένου ελέγχου. Συνεπώς, ένας ευρέως αποδεκτός ορισμός του σημερινού βιομηχανικού ρομπότ είναι αυτός

ενός αριθμητικά ελεγχόμενου χειριστή, στο οποίο ο ανθρώπινος χειριστής που είναι και ο κύριος χειριστής στην Εικόνα 7 αντικαθίστανται από έναν αριθμητικό ελεγκτή (Asada, 2005).

2.3.3 Δημιουργία Ρομποτικής

Η συγχώνευση του αριθμητικού ελέγχου και του απομακρυσμένης ελέγχου δημιούργησε ένα νέο πεδίο εφαρμοσμένης μηχανικής, και με αυτό εμφανίστηκαν ορισμένα επιστημονικά ζητήματα στο σχεδιασμό και τον έλεγχο που είναι ουσιαστικά διαφορετικά από αυτά των αρχικών τεχνολογιών. Τα ρομπότ πρέπει να έχουν πολύ μεγαλύτερη κινητικότητα και επιδεξιότητα από τα παραδοσιακά εργαλεία. Πρέπει να είναι σε θέση να εργαστούν σε μεγάλη γκάμα εργασιών, να έχουν πρόσβαση σε πολυσύχναστα μέρη, να χειρίζονται διάφορα είδη εργασιών και να εκτελούν ευέλικτες εργασίες. Οι υψηλές απαιτήσεις κινητικότητας και επιδεξιότητας έχουν ως αποτέλεσμα τη μοναδική μηχανική δομή των ρομπότ, που μοιάζει με τη δομή του ανθρώπινου βραχίονα. Αυτή η δομή, ωστόσο, αποκλίνει σημαντικά από τον παραδοσιακό σχεδιασμό μηχανών (Asada, 2005).

Μια μηχανική δομή ρομπότ αποτελείται κατά βάση από δοκούς προεξοχής, οι οποίοι σχηματίζουν μια ακολουθία βραχιόνων που συνδέονται με αρθρωτούς αρμούς. Μια τέτοια δομή έχει εγγενώς κακή μηχανική ακαμψία και ακρίβεια, επομένως δεν είναι κατάλληλη για τις βαριές εφαρμογές υψηλής ακρίβειας που απαιτούνται από εργαλειομηχανές. Επίσης, μια τέτοια δομή συνεπάγεται μια σειριακή ακολουθία σερβοειδών αρθρώσεων των οποίων τα σφάλματα συσσωρεύονται κατά μήκος της σύνδεσης. Προκειμένου να εκμεταλλευτούμε την υψηλή κινητικότητα και επιδεξιότητα που χαρακτηρίζεται μοναδικά από τον σειριακό δεσμό, πρέπει να ξεπεραστούν αυτές οι δυσκολίες με προηγμένες τεχνικές σχεδιασμού και ελέγχου (Asada, 2005).

Η γεωμετρία σειριακής σύνδεσης των βραχιόνων χειριστή περιγράφεται από σύνθετες μη γραμμικές εξισώσεις. Για την κατανόηση της γεωμετρικής και κινηματικής συμπεριφοράς του χειριστή, που αναφέρεται ως κινηματική χειριστή, απαιτούνται αποτελεσματικά εργαλεία ανάλυσης. Αυτό αντιπροσωπεύει έναν σημαντικό και μοναδικό τομέα της ρομποτικής έρευνας, δεδομένου ότι η έρευνα στην κινηματική και το σχεδιασμό έχει επικεντρωθεί σε μηχανισμούς μίας εισόδου με μεμονωμένους ενεργοποιητές να κινούνται σε σταθερές ταχύτητες, ενώ τα ρομπότ είναι χωρικοί μηχανισμοί πολλαπλών εισόδων που απαιτούν πιο εξελιγμένα αναλυτικά εργαλεία (Asada, 2005).

Επίσης, η δυναμική συμπεριφορά των χειριστών ρομπότ είναι περίπλοκη, καθώς η δυναμική των χωρικών συνδέσμων πολλαπλών εισόδων είναι συζευγμένη και μη γραμμική. Η κίνηση κάθε άρθρωσης επηρεάζεται σημαντικά από τις κινήσεις όλων των άλλων αρθρώσεων. Το αδρανειακό φορτίο που επιβάλλεται σε κάθε σύνδεσμο ποικίλλει ανάλογα με τη διαμόρφωση του βραχίονα χειριστή. Το Coriolis και τα φυγοκεντρικά εφέ είναι εμφανή όταν ο βραχίονας χειριστή κινείται με υψηλές ταχύτητες. Οι κινηματικές και δυναμικές πολυπλοκότητες δημιουργούν μοναδικά προβλήματα ελέγχου που δεν αντιμετωπίζονται επαρκώς με τυπικές τεχνικές γραμμικού ελέγχου, και έτσι καθιστούν τον αποτελεσματικό σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου ένα κρίσιμο ζήτημα στη ρομποτική (Asada, 2005).

Τέλος, τα ρομπότ απαιτείται να αλληλεπιδρούν πολύ περισσότερο με περιφερειακές συσκευές από ότι τα παραδοσιακά αριθμητικά ελεγχόμενα εργαλεία. Τα μηχανήματα είναι ουσιαστικά αυτόνομα συστήματα που χειρίζονται πακέτα εργασίας σε καλά καθορισμένες τοποθεσίες. Αντιθέτως, το περιβάλλον στο οποίο χρησιμοποιούνται ρομπότ είναι συχνά κακώς δομημένο και πρέπει να αναπτυχθούν αποτελεσματικά μέσα για τον εντοπισμό των θέσεων των πακέτων εργασίας, καθώς και για την επικοινωνία με περιφερειακές συσκευές και άλλα μηχανήματα με συντονισμένο τρόπο. Επίσης, τα ρομπότ είναι πολύ διαφορετικά από τους χειριστές καθώς είναι αυτόνομα συστήματα. Οι χειριστές είναι ουσιαστικά χειροκίνητα συστήματα όπου ο ανθρώπινος χειριστής λαμβάνει τις αποφάσεις και εφαρμόζει ενέργειες ελέγχου. Ο χειριστής ερμηνεύει μια δεδομένη εργασία, βρίσκει την κατάλληλη στρατηγική για την εκτέλεση της εργασίας και σχεδιάζει τη διαδικασία των λειτουργιών. Επινοεί έναν αποτελεσματικό τρόπο επίτευξης του στόχου βάσει της εμπειρίας και της γνώσης του σχετικά με το έργο. Οι αποφάσεις του / της μεταφέρονται στη συνέχεια στον υποτελή χειριστή μέσω του χειριστηρίου. Η προκύπτουσα κίνηση του εξαρτημένου χειριστή παρακολουθείται από τον χειριστή και παρέχονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις ή τροποποιήσεις των ενεργειών ελέγχου όταν η προκύπτουσα κίνηση δεν είναι επαρκής ή όταν συμβαίνουν απρόσμενα συμβάντα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας (Asada, 2005).

Επομένως ο ανθρώπινος χειριστής είναι ένα ουσιαστικό μέρος του βρόχου ελέγχου. Όταν ο χειριστής απομακρύνεται από το σύστημα ελέγχου, όλες οι εντολές σχεδιασμού και ελέγχου πρέπει να δημιουργούνται από το ίδιο το μηχάνημα. Η λεπτομερής διαδικασία των λειτουργιών πρέπει να ρυθμιστεί εκ των προτέρων και κάθε βήμα εντολής κίνησης πρέπει να δημιουργηθεί και να κωδικοποιηθεί σε κατάλληλη μορφή, έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να το ερμηνεύσει και να το εκτελέσει με ακρίβεια. Επίσης, απαιτούνται αποτελεσματικά μέσα για

την αποθήκευση των εντολών και τη διαχείριση του αρχείου δεδομένων. Συνεπώς, ο προγραμματισμός και η παραγωγή εντολών είναι κρίσιμα ζητήματα στη ρομποτική. Επιπλέον, το ρομπότ πρέπει να μπορεί να παρακολουθεί πλήρως τη δική του κίνηση. Το ρομπότ χρειάζεται μια ποικιλία αισθητήρων προκειμένου να προσαρμοστεί σε διαταραχές και απρόβλεπτες αλλαγές στο εργασιακό περιβάλλον για να λάβει πληροφορίες, τόσο για το περιβάλλον (χρησιμοποιώντας εξωτερικούς αισθητήρες, όπως κάμερες ή αισθητήρες αφής), όσο και για τον εαυτό του (χρησιμοποιώντας εσωτερικούς αισθητήρες, όπως κωδικοποιητές άρθρωσης ή αισθητήρες ροπής άρθρωσης). Οι αποτελεσματικές στρατηγικές που βασίζονται σε αισθητήρες και ενσωματώνουν αυτές τις πληροφορίες απαιτούν προηγμένους αλγόριθμους ελέγχου. Επίσης, υπονοούν μια λεπτομερή κατανόηση του έργου (Asada, 2005).

2.3.4 Εκπαιδευτική Ρομποτική

Η εκπαιδευτική ρομποτική είναι η διαδικασία κατά την οποία οι μαθητές έχουν στη διάθεσή τους μικρά ρομποτικά συστήματα, τα οποία θα πρέπει να τα συναρμολογήσουν και να τα προγραμματίσουν για να επιδείξουν συγκεκριμένη συμπεριφορά για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Συνεπώς, η εκπαιδευτική ρομποτική από παιδαγωγική άποψη θεωρείται ότι στηρίζεται στις θεωρίες του κλασικού κονστρουκτιβισμού και ποιο συγκεκριμένα στη δομή του κονστρουκτιβισμού. Το μαθησιακό περιβάλλον παρέχει δραστηριότητες που εντάσσονται σε διαδικασίες επίλυσης προβλημάτων και ως εκ τούτου οι μαθητές δημιουργούν πιο αποτελεσματικές γνώσεις, καθώς συμμετέχουν ενεργά με πιο φυσικό τρόπο στο σχεδιασμό και την κατασκευή (χειροκίνητη και ψηφιακή) πραγματικών αντικειμένων που έχουν νόημα για αυτούς (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Η εκπαιδευτική ρομποτική συνδυάζει το παιχνίδι με τη μάθηση, συνεπώς γίνεται μια διασκεδαστική δραστηριότητα που είναι ευκολότερη, πιο ενδιαφέρουσα και επιτυγχάνεται πιο αποτελεσματικά. Κυρίως στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση η πτυχή του παιχνιδιού που περιλαμβάνουν οι ρομποτικές κατασκευές είναι ένας σημαντικός και θετικός παράγοντας της ατομικής δράσης και των κινήτρων. Επιπλέον, προωθείται η ανάπτυξη του ερευνητικού ενδιαφέροντος και τα παιδιά έχουν τη δυνατότητα να ενεργούν ως επιστήμονες / εφευρέτες και να ανακαλύπτουν τις δικές τους πρωτότυπες ιδέες και λύσεις, ενισχύοντας με αυτό τον τρόπο την αυτό-αποτελεσματικότητά τους. Με την επίλυση αυθεντικών προβλημάτων οι μαθητές εμπλέκονται ενεργά και υποστηρίζουν τη διερευνητική τους στάση, έχοντας κίνητρα να σπουδάσουν Επιστήμη και Τεχνολογία στο μέλλον (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Οι μαθητές εμπλέκονται επίσης σε καταστάσεις που απαιτούν από αυτούς να χρησιμοποιήσουν και να εφαρμόσουν τις γνώσεις τους από τα μαθηματικά, την επιστήμη, την τεχνολογία και τη μηχανική, αποκτώντας την ευκαιρία να αναπτύξουν μια ισχυρή εννοιολογική βάση για την δόμηση των γνώσεων τους αργότερα. Η εκπαιδευτική ρομποτική επιτρέπει στους μαθητές να εκφραστούν ελεύθερα και προωθεί την ανάπτυξη της δημιουργικότητας και της φαντασίας, καθώς καλεί τους μαθητές να οραματιστούν τι θα κάνουν και τι στόχο θέλουν να επιτύχουν μέσω του προγραμματισμού των κατασκευών τους. Επιπλέον, οι κατασκευές μέσω της ρομποτικής είναι μια κατάσταση επίλυσης προβλημάτων που παρέχει άμεση ανατροφοδότηση και προωθεί μια διεπιστημονική προσέγγιση (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Ταυτόχρονα οι εκπαιδευτικές δραστηριότητες ρομποτικής βασίζονται στη συνεργασία και την αλληλεπίδραση ατόμων και ομάδων, προωθώντας τη σκέψη μέσω συγκρούσεων σε γνωστικό και κοινωνικό επίπεδο, καθώς τα παιδιά καλούνται να εξηγήσουν ιδέες, απόψεις και σκέψεις και να δικαιολογήσουν τις απαντήσεις τους. Επιπλέον, οι μαθητές πρέπει να αναλύσουν, να σχεδιάσουν και να εφαρμόσουν την εργασία τους, πράγμα που αποτελεί υψηλού επιπέδου πνευματικές δεξιότητες. Τέτοιες δραστηριότητες με νεότερες ηλικίες (π.χ. στο δημοτικό σχολείο) παρουσιάζουν κάποιο ποσοστό αποτυχίας, καθώς σύμφωνα με έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί τα παιδιά βρίσκονται στο «στάδιο σκυροδέματος» και μόλις μετακινούνται στο «τυπικό στάδιο λειτουργίας» (11, 12 ετών). Ωστόσο, αντιμετωπίζοντας προβλήματα που για το επίπεδό τους απαιτούν συγκεκριμένη σκέψη, βοηθούν τα παιδιά να εξοικειωθούν και να αντιμετωπίσουν αφηρημένες έννοιες (π.χ. ταχύτητα, χρόνος, μεταβλητή), έχοντας ως αποτέλεσμα την καλύτερη προετοιμασία τους για το επόμενο γνωστικό στάδιο (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Επιπλέον, η εκπαιδευτική ρομποτική συμβάλλει στη μάθηση του προγραμματισμού και βοηθά τους μαθητές να εξοικειωθούν με τις βασικές αρχές του. Ο προγραμματισμός των ρομποτικών κατασκευών δημιουργεί ένα εντελώς νέο περιβάλλον μάθησης, το οποίο έχει μεγάλο κίνητρο, ευνοεί τη στρατηγική δοκιμής / σφάλματος, που είναι μια στρατηγική που είναι γνωστή στους μαθητές του δημοτικού σχολείου και επισημαίνει αποδεκτές προσεγγίσεις και λύσεις, καθώς μια συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί με πολλούς τρόπους. Επιπλέον, υποστηρίζει μεταγνωστικές μαθησιακές διαδικασίες, καθώς οι μαθητές πρέπει να σκέφτονται τον τρόπο σκέψης και δράσης τους (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

2.4 STEM και Ρομποτική στην Εκπαίδευση

Τα ρομπότ σήμερα έχουν την ευκαιρία να γίνουν το επόμενο βήμα στην εκπαίδευση. Αυτό συμβαίνει επειδή ο καινοτόμος χαρακτήρας τους, η πρακτική εμπειρία που προσφέρουν και ο ενθουσιασμός που προκαλούν, κάνουν τα παιδιά πιο δεκτά στα μαθησιακά ερεθίσματα. Ωστόσο, εκτός από αυτό τα ρομπότ έχουν πολλά να προσφέρουν και να γίνουν ένα σημαντικό εκπαιδευτικό εργαλείο στην προσέγγιση STEM. Πέρα από την άμεση σχέση που φαίνεται να είναι πιο εμφανής μεταξύ της ρομποτικής, της τεχνολογίας και της μηχανικής, καθώς τα ρομπότ είναι ένα τεχνολογικό εργαλείο και ένα προϊόν μηχανικής και τεχνολογίας, η συσχέτιση με τους άλλους δύο τομείς της επιστήμης και των μαθηματικών μπορεί να μην είναι ξεκάθαρη (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

2.4.1 Συμβολή Ρομποτικής στην Εκμάθηση STEM Θεμάτων

Μελέτες σε σχολεία ανέφεραν ότι τα ρομπότ συνέβαλαν σημαντικά στη βελτίωση των δεξιοτήτων με κλάσματα και αναλογίες, καθώς και στην εκμάθηση των δεκαδικών και των λόγων ώστε να είναι πιο ενδιαφέρουσες και επιτυχημένες. Επιπλέον, μια μεγάλης κλίμακας μελέτη στο Περού, έδειξε βελτιώσεις στις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και στις δεξιότητες αναγνώρισης ποσότητας και ποσών (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Όσον αφορά την επιστήμη, οι δραστηριότητες που χρησιμοποιούσαν ρομπότ και προσανατολίστηκαν σε αρχές της κλασικής φυσικής αποδείχθηκαν ευεργετικές για τους μαθητές, όπως για παράδειγμα τα ρομπότ LEGO. Στις έρευνες που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκε για να εξεταστεί και να συζητηθεί η σχέση μεταξύ απόστασης, χρόνου και ταχύτητας μέσω της κατασκευής, του προγραμματισμού και του σχεδιασμού της κίνησης των ρομπότ. Το κίνητρο των μαθητών, η στάση τους απέναντι στη μάθηση και η εμπλοκή τους, θεωρήθηκε από τους ερευνητές ότι βελτιώθηκε σημαντικά (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Επιπλέον, η γνώση περιεχομένου των μαθητών ενισχύθηκε σημαντικά μέσω δραστηριοτήτων που επικεντρώθηκαν σε έννοιες όπως η τριβή, οι δυνάμεις, το βάρος, η διάμετρος των τροχών που συσχετίστηκαν με τους βασικούς νόμους του Νεύτωνα χρησιμοποιώντας ρομποτικές κατασκευές. Άλλα παραδείγματα στην ίδια κατεύθυνση αναφέρονται σε ένα ηλιακό αυτοκίνητο, έναν ελαστικό καταπέλτη και μια ανεμογεννήτρια που συνέβαλαν στη διδασκαλία των βασικών μορφών ενέργειας και τεχνικών μετατροπής ενέργειας (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Μελέτες που έγιναν για την ανάλυση των δραστηριοτήτων που σχετίζονται με τη φυσική, οι οποίες απαιτούσαν θεωρητική και πρακτική κατανόηση για την εφαρμογή τους, έδειξαν ότι οι μαθητές βελτιώθηκαν τόσο στη γραπτή τους ικανότητα να εξηγούν την επιστήμη όσο και στην ερμηνεία γραφημάτων που σχετίζονται με την ταχύτητα, το χρόνο, την επιτάχυνση και την επιβράδυνση μέσω ρομπότ (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

2.4.2 Παροχή Οπτικών και Πρακτικών Δραστηριοτήτων

Τα εκπαιδευτικά ρομπότ, ως ένας νέος τύπος μαθησιακής διαδικασίας, βελτιώνουν την κατανόηση των μαθηματικών εννοιών, όπως αριθμοί, μεγέθη και σχήματα. Έχει αναφερθεί ότι η ρομποτική παρέχει μια μοναδική μαθησιακή εμπειρία παρέχοντας φυσική ενσωμάτωση του υπολογισμού. Οι μαθητές λαμβάνουν ισχυρή οπτική ανατροφοδότηση από τη φυσική εμπειρία της εργασίας τους. Εξετάζουν, κάνουν υποθέσεις για το πώς λειτουργούν τα πράγματα και διεξάγουν πειράματα για να επικυρώσουν τις πεποιθήσεις και τις υποθέσεις τους. Η ρομποτική βοηθά τους μαθητές να κατανοήσουν αφηρημένα θέματα «με οπτική και εννοιολογική ευκολία» και διευκολύνει την ανάμνηση των μαθημάτων. Επιπλέον, η πρακτική φύση της ρομποτικής δημιουργεί ένα ενεργό μαθησιακό περιβάλλον και αυξάνει την εννοιολογική κατανόηση του αντικειμένου (Khanlari, 2014).

Η ρομποτική παρέχει ένα δύσκολο μαθησιακό περιβάλλον στο οποίο «τα αφηρημένα επίπεδα των εννοιών (προγράμματα) χαρτογραφούνται άμεσα στο συγκεκριμένο φυσικό επίπεδο (ρομπότ). Επίσης, οι ίδιοι οι μαθητές μπορούν να παρατηρήσουν τα αποτελέσματα των σχεδίων τους και στα δύο επίπεδα». Τα προγράμματα ρομποτικής κάνουν την επιστήμη διασκεδαστική και βελτιώνουν την επιστημονική εννοιολογική κατανόηση και γνώση των μαθητών, επειδή έχουν την ευκαιρία να χειραγωγήσουν και να παρατηρήσουν τα γρανάζια, την κίνηση και τις δυνάμεις. Τα πρακτικά ρομποτικά έργα παρακινούν σημαντικά τους μαθητές να μάθουν τις αρχές της πληροφορικής. Η ρομποτική απεικονίζει το σχεδιασμό των αλγορίθμων και παρέχει επίσης την ευκαιρία στους μαθητές να βιώσουν πρακτικές δραστηριότητες. Ως εκ τούτου η ρομποτική μπορεί να διευκολύνει την εκμάθηση θεμάτων, όπως είναι οι βασικές αρχές προγραμματισμού, οι αλγόριθμοι και η πολυπλοκότητά τους και οι γλώσσες προγραμματισμού (Khanlari, 2014).

2.4.3 Επίλυση Προβλημάτων

Τα πιο σημαντικά και δύσκολα θέματα μπορούν εύκολα να διδαχθούν μέσω της επίλυσης προβλημάτων. Επομένως, η επίλυση προβλημάτων είναι το πιο σημαντικό πράγμα που οι εκπαιδευτικοί πρέπει να διδάσκουν στους μαθητές τους. Καθώς η επίλυση προβλημάτων

θεωρείται μια αποτελεσματική και ισχυρή μέθοδος διδασκαλίας και μάθησης, ένας από τους στόχους της εκπαίδευσης STEM στον Καναδά είναι η αλλαγή της παραδοσιακής εκπαίδευσης με επίκεντρο τον εκπαιδευτικό και η ενθάρρυνση ενός προγράμματος σπουδών που καθοδηγείται από προβλήματα / επίλυση, ανακάλυψη, διερευνητική μάθηση, και απαιτούν από τους μαθητές να συμμετάσχουν ενεργά σε μια κατάσταση για να βρουν τη λύση της. Η επίλυση προβλημάτων μέσω της μαθησιακής προσέγγισης επιτρέπει στους μαθητές να έχουν θετική και εποικοδομητική απέναντι στα ζητήματα και αυξάνει τις δεξιότητες σκέψης σε υψηλότερο επίπεδο. Επίσης, η μάθηση βάσει προβλημάτων βοηθά τους μαθητές να μάθουν βαθιά το θέμα που εξετάζουν και να μην ξεχάσουν τι έχουν μάθει. Δεδομένου ότι οι μαθητές που βυθίζονται στο πρόβλημα τους, οδηγούνται στο να σκεφτούν σε βάθος και να ρωτήσουν για την αιτία και το αποτέλεσμα των φαινομένων και να αναζητήσουν τις λύσεις. Το πρόγραμμα σπουδών και η διδασκαλία πρέπει να ξεκινούν με προβλήματα, διλήμματα και ερωτήσεις για τους μαθητές. Η εκμάθηση μέσω επίλυσης προβλημάτων βοηθά τους μαθητές να μάθουν μέσα από το πραγματικό περιβάλλον, τα προβλήματα, τις καταστάσεις και τα μοντέλα (Khanlari, 2014).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΕΙΚΟΝΙΚΗΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΓΙΑ ΡΟΜΠΟΤΙΚΑ ΕΡΓΑ

Με την πρόοδο της επιστήμης των υπολογιστών και τις αλλαγές που έχουν επέλθει στις τεχνολογίες λογισμικού και υλικού, είναι δυνατή η εκτέλεση ολοένα και πολυπλοκότερων υπολογισμών σε λιγότερο χρόνο. Αυτές οι αλλαγές έχουν προσδώσει νέες δυνατότητες στην δυναμική προσομοίωση στην ρομποτική, καθώς δεν απαιτούνται πλέον υπολογιστικά εργαλεία που θα λειτουργούν εκτός σύνδεσης. Η δυναμική προσομοίωση στην ρομποτική χρησιμοποιείται στην γρήγορη ανάπτυξη πρωτότυπων ελεγκτών, στην αξιολόγηση ρομπότ, στην προσομοίωση εικονικών αισθητήρων, στην παροχή ενός μικρότερου μοντέλου για τα μοντέλα των προβλέψιμων ελεγκτών, στην συμμετοχή στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του πραγματικού ελέγχου των ρομπότ, κ.λ.π. (Ivaldiy, Padoisy, & Nori).

Στις μέρες μας υπάρχει ένας ολοένα και αυξανόμενος αριθμός εργαλείων για δυναμική προσομοίωση. Αυτά τα εργαλεία κυμαίνονται από βιβλιοθήκες δυναμικής επίλυσης προβλημάτων έως λογισμικό προσομοίωσης συστημάτων, που παρέχονται είτε μέσω ανοιχτών είτε κλειστών πηγών κώδικα, καθεμία περισσότερο ή λιγότερο προσαρμοσμένη στους αναμενόμενους τομείς εφαρμογής τους (Ivaldiy, Padoisy, & Nori).

Το φάσμα των εφαρμογών ρομποτικής είναι μεγάλο και ολοένα επεκτείνεται. Συνεπώς, είναι απαραίτητο για την κοινότητα των προγραμματιστών να έχει πρόσβαση σε σχόλια σχετικά με τις ανάγκες των χρηστών. Όπως επίσης οι ερευνητές είναι απαραίτητο να γνωρίζουν τα διαθέσιμα εργαλεία και να έχουν διαθέσιμα εκείνα τα στοιχεία που θα τους επιτρέψουν επιλέξουν το καλύτερο εργαλείο για την έρευνά τους (Ivaldiy, Padoisy, & Nori).

Οι δυναμικοί προσομοιωτές για την ρομποτική έχουν αυστηρότερες απαιτήσεις από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία εικονικών χαρακτήρων, όπου ο χρόνος, ο υπολογιστικός φόρτος και η φυσική πραγματικότητα μπορεί να είναι λιγότερο περιοριστικοί. Στην ψυχαγωγία (π.χ. βιντεοπαιχνίδια) οι ανέφικτες δυνάμεις μπορεί να μην αποτελούν πρόβλημα καθώς μπορεί να παραβιαστεί ο νόμος της φυσικής. Σε βιολογικές / μηχανικές μελέτες οι προσομοιωτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός σύνδεσης για να αναλύσουν ή να συνθέσουν συμπεριφορές. Αν και το πεδίο της δυναμικής μοντελοποίησης και προσομοίωσης έχει ωριμάσει τις τελευταίες δεκαετίες, η αυξανόμενη ανάγκη για έλεγχο των

συνολικών κινήσεων σύνθετων δομών, όπως τα ανθρωποειδή, δημιουργεί πρόσθετες προκλήσεις για τους προσομοιωτές ρομποτικής (Ivaldiy, Padoisy, & Nori):

1. η αριθμητική σταθερότητα, η οποία θέτει μεγάλους περιορισμούς στη χρήση προσομοιώσεων σε ρυθμίσεις ελέγχου σε πραγματικό χρόνο,
2. η ικανότητα χρήσης ως προβλέψιμων μηχανών σε βρόχους ελέγχου σε πραγματικό χρόνο, η οποία απαιτεί την ικανότητα να είναι εξαιρετικά γρήγορη στον υπολογισμό της δυναμικής και την εγγύηση για την παροχή εφικτών λύσεων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα,
3. η προσομοίωση άκαμπτων και μαλακών σωμάτων σε επαφή με άκαμπτα και συμμορφούμενα περιβάλλοντα, ο ανακριβής υπολογισμός των δυνάμεων επαφής μεταξύ των σωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε μη ρεαλιστικές επαφές ή σε φυσικά μη εφικτές δυνάμεις επαφής (το ζήτημα αυτό ήταν ιδιαίτερα εμφανές στην εικονική φάση του Darpa Robotics Challenge) και
4. η δυνατότητα μοντελοποίησης και προσομοίωσης νέων τύπων συστημάτων ενεργοποίησης, όπως η μεταβλητή σύνθετη αντίσταση ή οι μαλακοί ενεργοποιητές, και οι διαφορετικοί τύποι επαφών, για παράδειγμα με παραμορφώσιμα υλικά, συμβατές και μαλακές επιφάνειες.

Τέλος, η κοινότητα ρομποτικής ζητά τυποποιημένα εργαλεία λογισμικού και ιδιαίτερα λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Το πλεονέκτημα του ανοιχτού κώδικα δεν είναι μόνο στην κοινότητα που μπορεί να αναπτυχθεί γύρω από το λογισμικό, να αναπτύξει νέα εργαλεία, να βελτιώσει την ποιότητά τους και να αποφύγει την «εκ νέου εφεύρεση του τροχού» κάθε φορά, αλλά και στον έλεγχο της αποτελεσματικότητας και της ευρωστίας του σε πραγματικές πλατφόρμες (που είναι όμως ακριβή διαδικασία) (Ivaldiy, Padoisy, & Nori).

3.1 Λογισμικά Εικονικής Πραγματικότητας για Ρομποτικά Έργα

Οι προσομοιωτές ρομποτικής ακολουθούν την πορεία εξέλιξης του τομέα της ρομποτικής. Από την αρχή της ρομποτικής επανάστασης υπήρξε η ανάγκη προσομοίωσης των κινήσεων και των αντιδράσεων διαφορετικών μηχανών σε ερεθίσματα που δέχονταν. Σε πολλές περιπτώσεις πραγματοποιούνται προσομοιώσεις για τη δοκιμή πρωτοκόλλων ασφαλείας, τον προσδιορισμό τεχνικών βαθμονόμησης και τη δοκιμή νέων αισθητήρων ή εξοπλισμού, μεταξύ άλλων. Στο παρελθόν οι προσομοιωτές ρομποτικής αναπτύχθηκαν για μια σειρά ρομπότ μιας εταιρείας ή για έναν συγκεκριμένο σκοπό. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια η βελτίωση των μηχανών φυσικής

και των μηχανών βιντεοπαιχνιδιών, καθώς και η ταχύτητα επεξεργασίας των υπολογιστών, βοήθησαν στην τόνωση μιας νέας κατηγορίας προσομοιωτών που συνδυάζουν υπολογισμούς φυσικής και ακριβείς γραφικές αναπαραστάσεις ενός ρομπότ σε μια προσομοίωση. Αυτοί οι προσομοιωτές έχουν τη δυνατότητα ευελιξίας για προσομοίωση οποιουδήποτε τύπου ρομπότ. Καθώς οι αλγόριθμοι προσομοίωσης και οι γραφικές δυνατότητες των μηχανών των παιχνιδιών γίνονται καλύτερες και πιο αποτελεσματικές, οι προσομοιώσεις ξεφεύγουν από τα στενά πλαίσια των υπολογιστών και γίνονται πιο πραγματικές. Τέτοιες μηχανές μπορούν να εφαρμοστούν στη δημιουργία ενός προσομοιωτή και πλέον δεν είναι απαραίτητο να χτίσεις έναν ρομποτικό προσομοιωτή από το μηδέν (Harris, 2011).

Οι προσομοιωτές ρομποτικής δεν είναι πλέον σε δικό τους κόσμο. Για να διασφαλιστεί η φορητότητα του κώδικα από τον προσομοιωτή σε ρομποτικές πλατφόρμες πραγματικού κόσμου, όπως είναι ο τελικός στόχος, το συγκεκριμένο τμήμα του μεσαίου λογισμικού εκτελείται συχνά στις πλατφόρμες. Η απόδοση, η λειτουργία και τα εσωτερικά αυτού του μεσαίου λογισμικού πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη σύγκριση των προσομοιωτών. Όλοι αυτοί οι παράγοντες, καθώς και πολλοί άλλοι επηρεάζουν την πιστότητα της προσομοίωσης (Harris, 2011).

Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε μερικούς από τους πιο δημοφιλείς προσομοιωτές και πακέτα εργαλείων που διατίθενται σήμερα (τόσο ανοιχτού κώδικα όσο και κλειστού / εμπορικού) Κάθε προσομοιωτής που θα παρουσιαστεί έχει μία ή περισσότερες από τις ακόλουθες ιδιότητες (Harris, 2011):

- ποικιλία υλικού που μπορεί να προσομοιωθεί (αισθητήρες και ρομπότ)
- ακρίβεια γραφικής προσομοίωσης
- ακρίβεια φυσικής προσομοίωσης
- δυνατότητες μεταξύ πλατφορμών
- πόσο ανοιχτός είναι ο πηγαίος κώδικας (για μελλοντική ανάπτυξη και προσθήκη νέων ή προσαρμοσμένων προσομοιώσεων από τον χρήστη).

3.1.1 Προσομοιωτές Ανοιχτού Κώδικα και Εργαλεία

Player / Stage / Gazebo

Το Player Project ξεκίνησε το 1999 στο Πανεπιστήμιο της Νότιας Καλιφόρνιας και είναι ένα σύστημα τριών συστατικών ανοιχτού κώδικα (GPL, General Public License). Το Player Project περιλαμβάνει διακομιστή δικτύου υλικού (Player), έναν δισδιάστατο προσομοιωτή πολλαπλών

ρομπότ, αισθητήρων ή αντικειμένων σε ένα περιβάλλον χαρτογράφησης (Stage) και έναν προσομοιωτή πολλαπλών ρομπότ για απλά 3D εξωτερικά περιβάλλοντα (Gazebo). Το Player είναι ένα ενδιάμεσο λογισμικό με δυνατότητα δικτύωσης με χρήση πρωτοκόλλου TCP και είναι εγκατεστημένο στη ρομποτική πλατφόρμα. Αυτό το μεσαίο λογισμικό δημιουργεί ένα επίπεδο αφαίρεσης πάνω από το υλικό της πλατφόρμας, επιτρέποντας τη φορητότητα του κώδικα. Η δυνατότητα δικτύωσης επιτρέπει τη χρήση πολλών γλωσσών προγραμματισμού. Ενώ αυτή η δυνατότητα μπορεί να διευκολύνει τη φορητότητα προγραμματισμού μεταξύ πλατφορμών, προσθέτει πολλά επίπεδα πολυπλοκότητας σε οποιοδήποτε σχεδιασμό υλικού για ρομπότ (Harris, 2011).

Για να υποστηριχθεί η δικτύωση τα προγράμματα οδήγησης και οι διασυνδέσεις πρέπει να γράφονται για να αλληλεπιδρούν με κάθε κομμάτι υλικού ή αλγόριθμου. Κάθε τύπος αισθητήρα έχει ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο που ονομάζεται διεπαφή, που καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο πρέπει να επικοινωνεί με τον οδηγό. Ένα πρόγραμμα οδήγησης πρέπει να είναι γραμμένο χρησιμοποιώντας μεθόδους αφαίρεσης αρχείων παρόμοιες με τα συστήματα POSIX, έτσι ώστε να μπορεί το Player να συνδεθεί στον αισθητήρα. Η ίδια η ρομποτική πλατφόρμα πρέπει να μπορεί να εκτελεί ένα μικρό λειτουργικό σύστημα POSIX για την υποστήριξη της εφαρμογής του διακομιστή υλικού. Αυτό είναι υπερβολικό για πολλά εισαγωγικά προγράμματα ρομποτικής και χρησιμοποιείται περισσότερο σε υψηλότερου επιπέδου εφαρμογές ρομποτικού ελέγχου και χρήστες με μεγαλύτερους προϋπολογισμούς. Οι δημιουργοί του Player παραδέχονται ότι δεν ταιριάζει σε όλα τα σχέδια ρομπότ (Harris, 2011).

Το Player υποστηρίζει επί του παρόντος περισσότερες από 10 ρομποτικές πλατφόρμες καθώς και 25 διαφορετικούς αισθητήρες υλικού. Μπορούν να αναπτυχθούν προσαρμοσμένα προγράμματα οδήγησης και διεπαφές για νέους αισθητήρες και υλικό. Στην υποστηριζόμενη ιστοσελίδα του υλικού του προγράμματος Player μπορεί κάποιος να αναζητήσει την τρέχουσα σειρά πλατφορμών και υλικού αισθητήρα που διατίθενται για ρομπότ Player (Harris, 2011).

Το Stage είναι ένας δισδιάστατος προσομοιωτής ρομπότ που έχει σχεδιαστεί κυρίως για εσωτερικούς χώρους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αυτόνομη εφαρμογή, βιβλιοθήκη C++ ή πρόσθετο για το Player. Το πλεονέκτημα του Stage είναι ότι εστιάζει στο να είναι «αποτελεσματικό και διαμορφώσιμο παρά πολύ ακριβές». Το Stage σχεδιάστηκε για την προσομοίωση μεγάλων ομάδων ή σμήνων ρομπότ. Η γραφική ικανότητα είναι επίσης αρκετά βασική. Οι αισθητήρες στο Stage επικοινωνούν ακριβώς το ίδιο με το πραγματικό υλικό,

επιτρέποντας ο ίδιος ακριβώς κώδικα να χρησιμοποιηθεί για προσομοίωση με το πραγματικό υλικό. Ωστόσο, αυτό δεν αποτελεί εγγύηση ότι οι προσομοιώσεις έχουν υψηλή πιστότητα φυσικής προσομοίωσης (Harris, 2011).

Το Gazebo είναι ένας προσομοιωτής 3D ρομποτικής που έχει σχεδιαστεί για μικρότερους πληθυσμούς ρομπότ (λιγότερο από δέκα) και προσομοιώνει με μεγαλύτερη πιστότητα από το Stage. Το Gazebo σχεδιάστηκε για να μοντελοποιεί 3D εξωτερικά και εσωτερικά περιβάλλοντα. Η χρήση πρόσθετων επεκτείνει τις δυνατότητες του Gazebo για να συμπεριλάβει δυνατότητες όπως η δυναμική φόρτωση προσαρμοσμένων μοντέλων και η χρήση αισθητήρων στερεοφωνικής κάμερας. Το Gazebo χρησιμοποιεί το ODE (Open Dynamics Engine) που παρέχει προσομοίωση υψηλής φυσικής πιστότητας. Έχει επίσης τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί την μηχανή Bullet Physics (Harris, 2011).

USARSim

Το USARSim (Unified System for Automation and Robotics Simulation) αρχικά αναπτύχθηκε το 2002 στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon και είναι ένας δωρεάν προσομοιωτής που βασίζεται στην πλατφόρμα Unreal Engine 2.0. Παραδόθηκε στο Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας (NIST) το 2005 και απελευθερώθηκε με την άδεια GPL. Το USARSim είναι στην πραγματικότητα ένα σύνολο πρόσθετων στο Unreal Engine, οπότε οι χρήστες πρέπει να διαθέτουν ένα αντίγραφο αυτού του λογισμικού για να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον προσομοιωτή. Η άδεια για τη μηχανή παιχνιδιών κοστίζει συνήθως περίπου 40 \$ ΗΠΑ. Η φυσική προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας την μηχανή φυσικής Karma που είναι ενσωματωμένη στην μη πραγματική μηχανή, παρέχοντας βασικές προσομοιώσεις φυσικής. Ένα πλεονέκτημα της χρήσης της μηχανής του Unreal είναι η ενσωματωμένη δυνατότητα δικτύωσης. Εξαιτίας αυτής της δυνατότητας, τα ρομπότ μπορούν να ελέγχονται από οποιαδήποτε γλώσσα που υποστηρίζει πρωτόκολλο TCP (Harris, 2011).

Ενώ το USARSim βασίζεται σε μια μηχανή πολλαπλών πλατφορμών, το εγχειρίδιο χρήστη εξηγεί πλήρως πώς να το εγκαταστήσετε σε μηχανή Windows ή Linux. Δεν περιγράφεται μια διαδικασία εγκατάστασης Mac OS. Η εγκατάσταση απαιτεί το Unreal Tournament 2004 (UT2004) καθώς και μια ενημερωμένη έκδοση κώδικα. Μετά την εγκατάσταση αυτών των λογισμικών μπορούν να εγκατασταθούν στοιχεία USARSim. Και στις δύο πλατφόρμες, Windows και Linux, η εγκατάσταση είναι μάλλον περίπλοκη και απαιτεί τη μετακίνηση ή τη διαγραφή πολλών αρχείων και καταλόγων με το χέρι. Το USARSim wiki έχει

οδηγίες εγκατάστασης. Οι οδηγίες για εγκατάσταση σε Linux βρέθηκαν στο φόρουμ USARSim στο sourceforge.net. Δεδομένου ότι είναι ένα πρόσθετο στο πακέτο Unreal Tournament, το συνολικό μέγεθος της εγκατάστασης είναι μάλλον μεγάλο, ειδικά σε υπολογιστές Windows (Harris, 2011).

Το USARSim συνοδεύεται από διάφορα λεπτομερή μοντέλα ρομπότ διαθέσιμα για χρήση σε προσομοιώσεις, ωστόσο είναι δυνατό να δημιουργηθούν προσαρμοσμένα εξαρτήματα ρομπότ σε εξωτερικό λογισμικό 3D μοντελοποίησης και να προσδιοριστούν τα φυσικά χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων μόλις φορτωθούν στον προσομοιωτή. Ένα μη ολοκληρωμένο σεμινάριο για το πώς να δημιουργήσετε και να εισαγάγετε ένα μοντέλο από το 3D Studio Max περιλαμβάνεται στην τεκμηρίωση. Μόλις δημιουργηθούν και φορτωθούν ρομπότ, μπορούν να προγραμματιστούν χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο TCP. Επίσης, είναι διαθέσιμα διάφορα περιβάλλοντα προσομοίωσης. Τα περιβάλλοντα μπορούν να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν χρησιμοποιώντας εργαλεία που αποτελούν μέρος του Unreal Engine (Harris, 2011).

Υπήρξαν πολλές μελέτες για τον σχεδιασμό των μεθόδων της επικύρωσης της προσομοίωσης φυσικής και αισθητήρων του USARSim. Έχουν προσδιοριστεί μέθοδοι που θα βοηθούσαν να φέρουν τις προσομοιώσεις φυσικής πιο κοντά σε ρομποτικές πλατφόρμες πραγματικού κόσμου, δημιουργώντας πολλαπλά περιβάλλοντα δοκιμών στον προσομοιωτή, καθώς και στο εργαστήριο, και δοκιμάζοντας πραγματικές ρομποτικές πλατφόρμες ενάντια στις προσομοιώσεις. Η φυσική των προσομοιώσεων τροποποιήθηκε και δοκιμάστηκε ξανά και ξανά μέχρι να προκύψουν ακριβέστερες προσομοιώσεις. Οι Balaguer και Carpin βασίστηκαν σε προηγούμενη εργασία επικύρωσης προσομοιωμένων εξαρτημάτων δοκιμάζοντας εικονικούς αισθητήρες έναντι αισθητήρων πραγματικού κόσμου. Για αυτές τις ανάγκες δημιουργήθηκε μια μέθοδος για τη δημιουργία και τη δοκιμή ενός εικονικού αισθητήρα GPS (Global Positioning System) που προσομοιώνει πολύ περισσότερο έναν πραγματικό αισθητήρα GPS. Επίσης, έχουν σχεδιαστεί και επικυρωθεί τα ασύρματα συστήματα επικοινωνίας και όρασης μεταξύ ρομπότ. Το USARSim έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχημένα ακόμη και για την προσομοίωση περιοχών άλλων κόσμων. Το USARSim έχει χρησιμοποιηθεί με αλγόριθμους που έχουν ήδη αποδειχθεί ότι λειτουργούν στον πραγματικό κόσμο, καθώς και δεδομένα πραγματικού κόσμου από αποστολές εξερεύνησης του Άρη για την επικύρωση μιας προσομοίωσης ρομπότ άλλου πλανήτη (Harris, 2011).

SARGE

Το SARGE (SARGE, Search and Rescue Game Engine) είναι ένας προσομοιωτής που έχει σχεδιαστεί για να εκπαιδεύει την επιβολή του νόμου χρησιμοποιώντας ρομποτική σε επιχειρήσεις αναζήτησης και διάσωσης. Το SARGE κυκλοφορεί χρησιμοποιώντας Apache License V2.0. Στην Εικόνα 8 φαίνεται η εισαγωγική οθόνη του SARGE. Οι προγραμματιστές του SARGE παρείχαν πειστικά στοιχεία ότι ένας έγκυρος προσομοιωτής ρομποτικής θα μπορούσε να γραφτεί εξ ολοκλήρου σε μια μηχανή παιχνιδιών. Το Unity επιλέχθηκε ως μηχανή παιχνιδιών επειδή είχε λιγότερα σφάλματα σε σχέση με την μηχανή του Unreal και παρείχε μια καλύτερη επιλογή για προσομοιώσεις φυσικής PhysX. Το PhysX παρέχει υψηλότερο επίπεδο πιστότητας στις προσομοιώσεις φυσικής. Το SARGE υποστηρίζει επί του παρόντος μόνο πλατφόρμες Windows και Mac, αν και ακόμα βρίσκεται σε εξέλιξη. Προς το παρόν, μια έκδοση webplayer του προσομοιωτή είναι διαθέσιμη στον ιστότοπο <http://www.sargegames.com> (Harris, 2011).



Εικόνα 8, Εισαγωγική οθόνη SARGE

Στους χρήστες του SARGE δίνεται η δυνατότητα να δημιουργήσουν τα δικά τους ρομπότ και εδάφη με τη χρήση εξωτερικού λογισμικού μοντελοποίησης 3D. Οι αισθητήρες περιορίζονται σε ανιχνευτή φωτός και εύρος (LIDAR, Light Detection and Ranging), κάμερα 3D, πυξίδα, GPS, χιλιομετρητή, αδρανειακή μονάδα μέτρησης (IMU, Inertial Measuring Unit) και τυπική κάμερα, αν και μόνο το GPS, ο ανιχνευτής φωτός και εύρους, η πυξίδα και το IMU

αναφέρονται στο εγχειρίδιο. Το GPS απαιτεί μια αρχική μετατόπιση του προσομοιωμένου εδάφους που παρέχεται από το Google Earth. Τα ίδια τα εδάφη μπορούν να δημιουργηθούν στο περιβάλλον ανάπτυξης τοποθετώντας χειροκίνητα τρισδιάστατα μοντέλα κτιρίων και άλλων κατασκευών σε εικόνες πραγματικού εδάφους από το Google Earth. Μόλις ένα σημείο στο εικονικό έδαφος αναφέρεται σε συντεταγμένη GPS από το Google Earth, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας GPS. Αυτό δείχνει ότι ενώ τα εδάφη και τα ρομπότ μπορούν να δημιουργηθούν στο ίδιο το SARGE, ενδέχεται να χρειαστούν εξωτερικά προγράμματα για τη δημιουργία μιας πλήρους προσομοίωσης (Harris, 2011).

ROS

Το ROS (Robot Operating System) είναι σήμερα ένα από τα πιο δημοφιλή συστήματα εργαλείων ρομποτικής. Υποστηρίζονται επίσημα μόνο πλατφόρμες που βασίζονται στο UNIX (συμπεριλαμβανομένου του Mac OS X), αλλά η εταιρεία Robotics Equipment Corporation το έχει μεταφέρει στα Windows. Το ROS είναι πλήρως ανοιχτού κώδικα και χρησιμοποιεί άδεια BSD. Αυτό επιτρέπει στους χρήστες να συμμετέχουν στην ανάπτυξη του συστήματος, για αυτό άλλωστε έχει αποκτήσει ευρεία χρήση. Στη γεωμετρική άνοδο της δημοτικότητάς του τα τελευταία χρόνια έχει προσθέσει πάνω από 1643 πακέτα και 52 αποθετήρια κώδικα από τότε που κυκλοφόρησε (Harris, 2011).

Ένα από τα πλεονεκτήματα του ROS είναι ότι συνεργάζεται αρμονικά με άλλους προσομοιωτές ρομποτικής και μεσαία λογισμικά. Χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία με Player, YARP, Orcos, URBI, OpenRAVE και IPC. Ένα άλλο πλεονέκτημα του ROS είναι ότι μπορεί να ενσωματώσει πολλές κοινά χρησιμοποιούμενες βιβλιοθήκες για συγκεκριμένες εργασίες, αντί να χρειάζεται να έχει τις δικές του προσαρμοσμένες βιβλιοθήκες. Για παράδειγμα, η δυνατότητα εύκολης ενσωμάτωσης του OpenCV βοήθησε να γίνει το ROS καλύτερη επιλογή από κάποια άλλα εργαλεία. Επίσης, πολλές βιβλιοθήκες από το πρόγραμμα Player χρησιμοποιούνται σε ορισμένες πτυχές του ROS. Ένα επιπλέον παράδειγμα του ROS που συνεργάζεται αρμονικά με άλλους προσομοιωτές είναι η χρήση του προσομοιωτή Gazebo (Harris, 2011).

Το ROS έχει σχεδιαστεί για να είναι ένα σύστημα μερικώς πραγματικού χρόνου. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι πλατφόρμες ρομποτικής με τις οποίες έχει σχεδιαστεί για χρήση, όπως και το PR2, θα βρίσκονται σε διαφορετικές καταστάσεις που περιλαμβάνουν περισσότερη αλληλεπίδραση ανθρώπου – υπολογιστή σε πραγματικό χρόνο από ό, τι πολλές

τρέχουσες πλατφόρμες εμπορικής έρευνας ρομποτικής. Μία από τις κύριες πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη του ROS είναι το ρομπότ PR2 από το Willow Garage. Ο στόχος της χρήσης της πλατφόρμας του ROS σε πραγματικό χρόνο με αυτό το ρομπότ, είναι να βοηθήσει στην καθοδήγηση της ασφαλούς αλληλεπίδρασης ανθρώπου – ρομπότ (HRI, Human-Robot Interaction). Προηγούμενες πλατφόρμες όπως το Player σπάνια είχαν σχεδιαστεί με γνώμονα αυτήν την πτυχή (Harris, 2011).

UberSim

Το UberSim είναι ένας προσομοιωτής ανοιχτού κώδικα (με άδεια GPL) που βασίζεται στη μηχανή φυσικής ODE και χρησιμοποιεί το OpenGL για γραφικά οθόνης. Δημιουργήθηκε το 2000 στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon με έμφαση στα μικρά ρομπότ σε μια προσομοίωση ρομπότ ποδοσφαίρου. Η πρώτη εστίαση του προσομοιωτή ήταν οι ομάδες CMDragons και RoboCup. Ωστόσο, ο απώτερος στόχος ήταν να αναπτυχθεί ένας προσομοιωτής για πολλούς τύπους και μεγέθη πλατφορμών ρομποτικής. Από το 2007, φαίνεται ότι δεν είναι πλέον υπό ανάπτυξη (Harris, 2011).

EyeSim

Το EyeSim ξεκίνησε ως ένας δισδιάστατος προσομοιωτής για την πλατφόρμα ρομποτικής EyeBot το 2002. Η πλατφόρμα EyeBot χρησιμοποιεί βιβλιοθήκη λειτουργιών RoBIOS (Robot BIOS). Αυτές οι λειτουργίες προσομοιώνονται στον προσομοιωτή EyeSim. Τα περιβάλλοντα δοκιμών θα μπορούσαν να δημιουργηθούν εύκολα φορτώνοντας αρχεία κειμένου με μία από τις ακόλουθες δύο μορφές, είτε με μορφή τοίχου είτε με μορφή λαβυρίνθου. Η μορφή τοίχου χρησιμοποιεί απλώς τέσσερις τιμές για να αντιπροσωπεύει το σημείο έναρξης και διακοπής ενός τοίχου σε συντεταγμένες X, Y (δηλαδή x1 y1 x2 y2). Η μορφή λαβυρίνθου είναι μια μορφή στην οποία ένας λαβύρινθος σχεδιάζεται κυριολεκτικά σε ένα αρχείο κειμένου χρησιμοποιώντας το σωλήνα και την υπογράμμιση (δηλ. | Και _) καθώς και άλλους χαρακτήρες (Harris, 2011).

Το 2002 ο προσομοιωτής EyeSim είχε μετασχηματιστεί σε έναν προσομοιωτή 3D που χρησιμοποιεί το OpenGL για καλύτερες γραφικές αναπαραστάσεις και από τότε φορτώνει αρχεία OpenInventor για μοντέλα ρομπότ. Το GUI (Graphical User Interface) γράφτηκε χρησιμοποιώντας FLTK. Τα περιβάλλοντα δοκιμών περιγράφηκαν από ένα σύνολο σημείων δύο διαστάσεων, καθώς δεν έχουν πλάτος και έχουν ίσα ύψη (Harris, 2011).

Η προσομοίωση του EyeBot είναι η επέκταση αυτού του εργαλείου. Ενώ μπορούν να εισαχθούν διαφορετικά μοντέλα τρισδιάστατων ρομπότ και μπορούν να επιλεγούν διαφορετικοί τύποι κίνησης (όπως τροχοί omni-directional και τιμόνι Ackermann), ο ελεγκτής θα βασίζεται πάντα στον ελεγκτή EyeBot και θα χρησιμοποιεί βιβλιοθήκες RoBIOS. Αυτό σημαίνει ότι τα προσομοιωμένα ρομπότ θα κωδικοποιούνται πάντα σε κώδικα C. Η προσομοίωση δυναμικής είναι πολύ απλή και δεν χρησιμοποιεί μηχανή φυσικής. Επίσης, χρησιμοποιούνται μόνο βασικοί άκαμπτοι υπολογισμοί σώματος (Harris, 2011).

SubSim

Το SubSim είναι ένας προσομοιωτής για Αυτόνομα Υποβρύχια Οχήματα (AUV, Autonomous Underwater Vehicles) που αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τον ελεγκτή EyeBot. Αναπτύχθηκε το 2004 για το Πανεπιστήμιο της Δυτικής Αυστραλίας στο Περθ. Το SubSim χρησιμοποιεί την μηχανή φυσικής Newton Dynamics καθώς και το Physics Abstraction Layer (PAL) για τον υπολογισμό της φυσικής του υποβρύχιου (Harris, 2011).

Μοντέλα διαφορετικών ρομποτικών οχημάτων μπορούν να εισαχθούν από αρχεία Milkshape3D. Ο προγραμματισμός του ρομπότ γίνεται χρησιμοποιώντας C ή C++ για προγραμματισμό χαμηλότερου επιπέδου ή πρόσθετα γλώσσας. Επί του παρόντος, η μόνη προσθήκη γλώσσας είναι η προσθήκη EyeBot. Προγραμματίζονται περισσότερες προσθήκες οι οποίες ακόμη δεν έχουν υλοποιηθεί (Harris, 2011).

OpenRAVE

Το OpenRAVE (Open Robotics and Animation Virtual Environment) είναι μια αρχιτεκτονική λογισμικού ανοιχτού κώδικα (LGPL) που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο Carnegie Mellon. Χρησιμοποιείται κυρίως για το σχεδιασμό και τις προσομοιώσεις χειρισμών σύλληψης καθώς και ρομποτικών ανθρωποειδών. Επίσης, χρησιμοποιείται για την παροχή δυνατοτήτων σχεδιασμού και προσομοίωσης σε άλλα πλατφόρμες ρομποτικής όπως το Player και το ROS. Η υποστήριξη για το OpenRAVE ήταν ένας πρώιμος στόχος για την ομάδα ROS λόγω των δυνατοτήτων προγραμματισμού και του ανοιχτού του κώδικα (Harris, 2011).

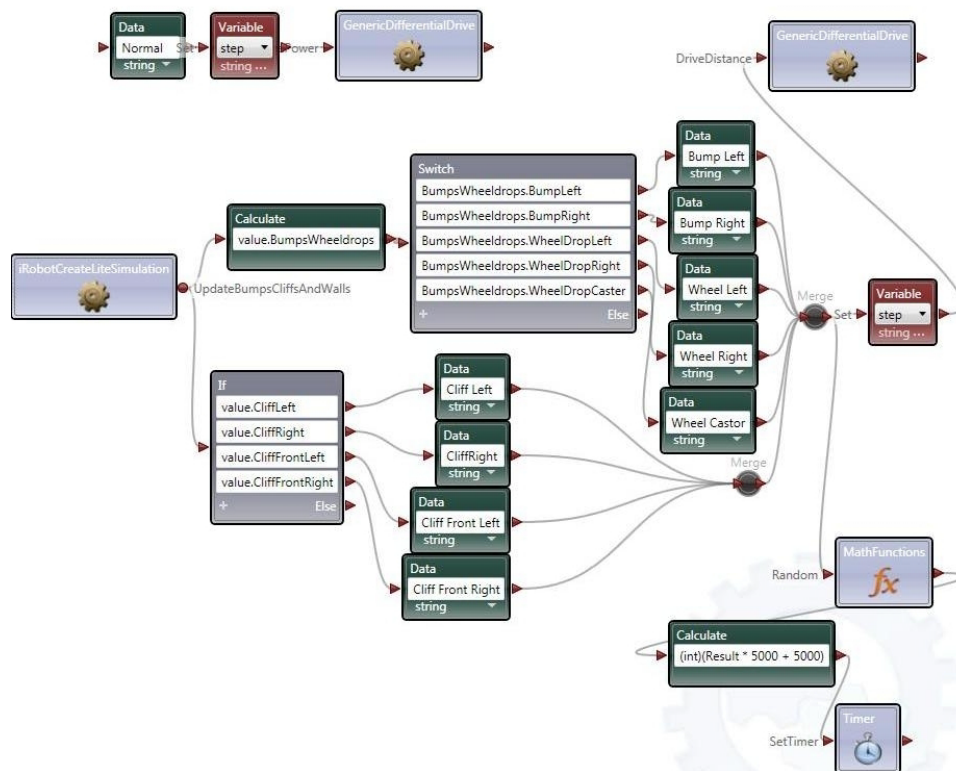
Ένα πλεονέκτημα στη χρήση του OpenRAVE είναι το σύστημα προσθηκών του. Όλα τα επιμέρους συστατικά συνδέονται με το OpenRAVE με προσθήκες, είτε πρόκειται για ελεγκτή, για προγραμματιστές, για εξωτερικές μηχανές προσομοίωσης και ακόμη και για πραγματικό ρομποτικό υλικό. Οι προσθήκες φορτώνονται δυναμικά. Υποστηρίζονται πολλές γλώσσες δέσμης ενεργειών όπως η Pythos και το MATLAB / Octave (Harris, 2011).

3.1.2 Εμπορικοί Προσομοιωτές Ρομποτικής

Microsoft Robotics Developer Studio

Το Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS) χρησιμοποιεί μηχανής φυσικής Phys X. Η Phys X είναι ένας από τους καλύτερους διαθέσιμους κινητήρες όσον αφορά την φυσική πιστότητα. Ένα στιγμιότυπο της οθόνης του MRDS φαίνεται στην Εικόνα 9. Τα ρομπότ MRDS μπορούν να προγραμματιστούν σε γλώσσες .NET καθώς και σε άλλες. Η πλειονότητα των διαθέσιμων σεμιναρίων σε απευθείας σύνδεση αναφέρει τη χρήση της C#, καθώς και μιας οπτικής γλώσσας προγραμματισμού (VPL, Visual Programming Language) που αναπτύχθηκε από τη Microsoft. Τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε VPL μπορούν να μετατραπούν σε C#. Τα γραφικά έχουν υψηλή πιστότητα. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πλατφορμών ρομποτικής καθώς και αισθητήρων για να διαλέξει κάποιος (Harris, 2011).

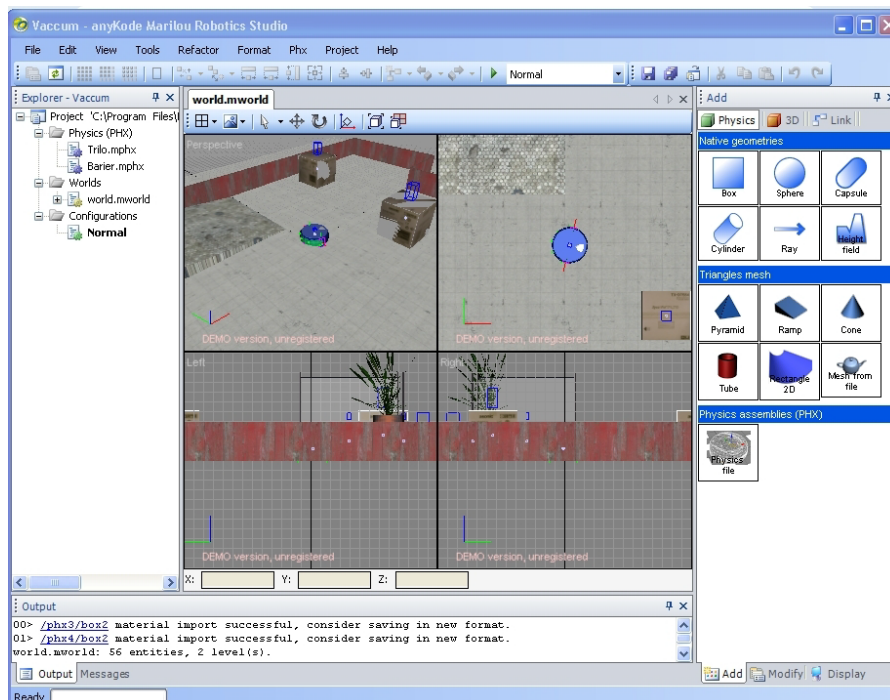
Όντας ένα προϊόν της Microsoft σίγουρα δεν είναι πλατφόρμα. Υποστηρίζονται μόνο τα Windows XP, τα Windows Vista και τα Windows 7. Ωστόσο, το MRDS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό ρομποτικών πλατφορμών που ενδέχεται να εκτελούν άλλα λειτουργικά συστήματα με τη χρήση σειριακής ή ασύρματης επικοινωνίας (Bluetooth, WiFi ή RF Modem) με το ρομπότ (Harris, 2011).



Εικόνα 9, Στιγμιότυπο Microsoft Robotics Developer Studio

Marilou

Το Marilou είναι μια πλήρης σουίτα προσομοίωσης ρομποτικής. Περιλαμβάνει ένα ενσωματωμένο πρόγραμμα μοντελοποίησης, έτσι ώστε οι χρήστες να μπορούν να δημιουργήσουν τα δικά τους ρομπότ χρησιμοποιώντας βασικά σχήματα. Ο διαμορφωτής διαθέτει μια διαισθητική διεπαφή τύπου CAD. Η μηχανή φυσικής προσομοιώνει άκαμπτα σώματα, αρμούς και εδάφη. Επίσης, περιλαμβάνει διάφορους τύπους διαθέσιμων γεωμετριών. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται σε ρομπότ είναι προσαρμόσιμοι, επιτρέποντας τη μοντελοποίηση και την προσομοίωση συγκεκριμένων πτυχών ενός συγκεκριμένου φυσικού αισθητήρα. Οι συσκευές μπορούν να τροποποιηθούν χρησιμοποιώντας μια απλή διεπαφή οδηγού. Η Εικόνα 10 δείχνει ένα στιγμιότυπο οθόνης του Marilou από anyCode (Harris, 2011). Τα ρομπότ μπορούν να προγραμματιστούν σε πολλές γλώσσες από μηχανήματα Windows και Linux, αλλά ο επεξεργαστής και ο προσομοιωτής είναι μόνο Windows. Το Marilou προσφέρει οδηγούς προγραμματισμού που βοηθούν στη παραμετροποίηση των ρυθμίσεων έργων και του πηγαιού κώδικα, βάσει της γλώσσας και του μεταγλωττιστή που επιλέγει ο χρήστης (Harris, 2011). Το Marilou δεν είναι ανοιχτού κώδικα ή δωρεάν. Ενώ υπάρχει μια δωρεάν έκδοση στο σπίτι, αυτή προορίζεται για χομπίστες χωρίς πρόθεση εμπορίας. Τα αποτελέσματα και άλλες σχετικές πληροφορίες δεν είναι συμβατές με τις επαγγελματικές ή εκπαιδευτικές εκδόσεις. Οι τιμές για αυτές τις εκδόσεις κυμαίνονται από 360\$ έως 2.663 \$ (Harris, 2011).

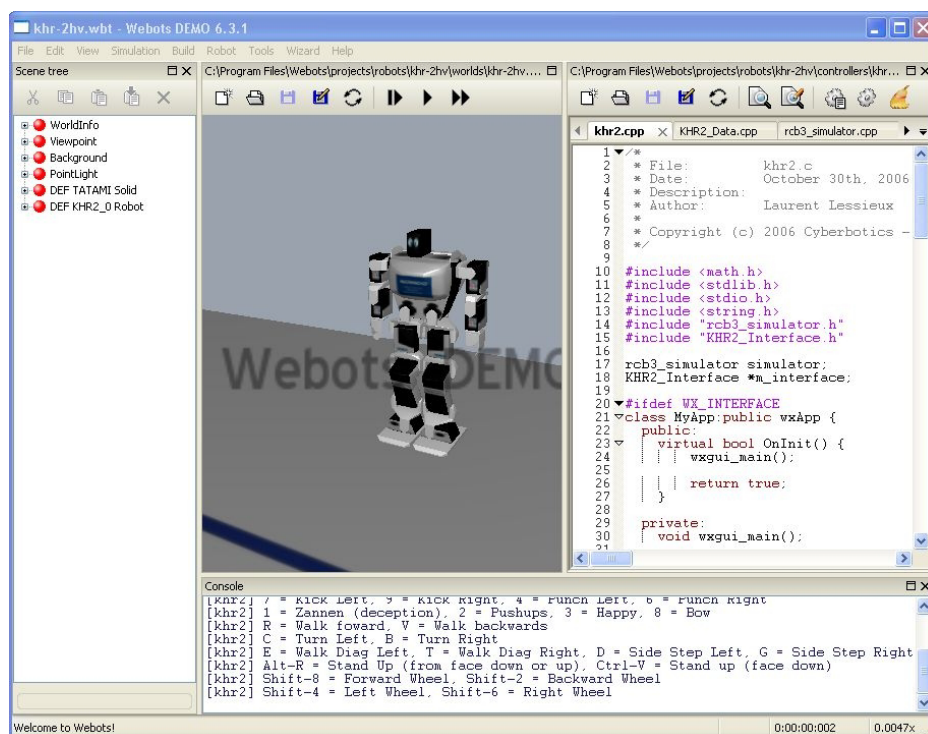


Εικόνα 10, Στιγμιότυπο Marilou από anyCode

Webots

Ο προσομοιωτής Cyberbotics Webots (βλέπε Εικόνα 11) είναι ένας πραγματικός 3D προσομοιωτής ρομποτικής πολλαπλών μορφών και θεωρείται ο πιο αναπτυγμένος στην κατηγορία του. Το Webots αναπτύχθηκε αρχικά ως έργο ανοιχτού κώδικα με ονομασία Khepera Simulator, καθώς αρχικά προσομοίωσε την πλατφόρμα ρομπότ Khepera. Το όνομα του έργου άλλαξε σε Webots το 1998. Οι δυνατότητές του έχουν έκτοτε επεκταθεί για να συμπεριλάβουν περισσότερες από 15 διαφορετικές πλατφόρμες ρομποτικής (Harris, 2011).

Το Webots χρησιμοποιεί τη μηχανή φυσικής ODE και έχει ρεαλιστική απόδοση τόσο σε ρομπότ όσο και στο περιβάλλον. Επίσης, επιτρέπει την εκτέλεση πολλαπλών ρομπότ ταυτόχρονα. Το Webots μπορεί να εκτελέσει στοιχεία ελέγχου γραμμένα σε γλώσσες C / C++, Java, URBI, Python, ROS και MATLAB. Αυτός ο προσομοιωτής επιτρέπει τη δημιουργία προσαρμοσμένων πλατφορμών ρομποτικής επιτρέποντας στον χρήστη να σχεδιάσει πλήρως ένα νέο όχημα, να επιλέξει αισθητήρες, να τοποθετήσει αισθητήρες όπου επιθυμεί, και να προσομοιώσει τον κώδικα στο όχημα (Harris, 2011).



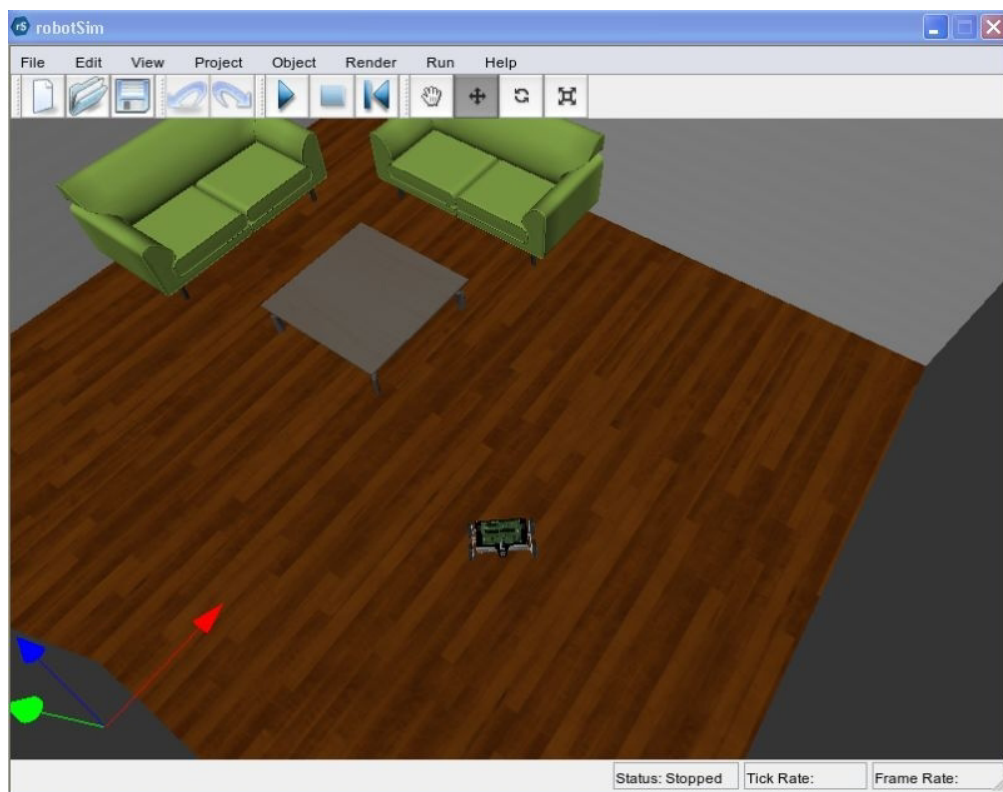
Εικόνα 11, Προσομοιωτής Webots

Το Webots έχει ένα παράδειγμα επίδειξης που δείχνει πολλά από τα διαφορετικά συστήματα ρομποτικής που μπορεί να προσομοιώσει, όπως ένα αμφίβιο ρομπότ πολλαπλών αρθρώσεων, το Mars Sojourner rover, ρομποτικές ομάδες ποδοσφαίρου, ανθρωποειδή, πολλαπλά ρομποτικά

όπλα σε μια γραμμή συναρμολόγησης, ένα ρομποτικό μπλουζ και πολλά άλλα . Η φυσική και τα γραφικά είναι πολύ εντυπωσιακά και το λογισμικό είναι εύκολο στη χρήση. Η Webots διαθέτει μια δωρεάν έκδοση επίδειξης για όλες τις πλατφόρμες. Επιπλέον, διαθέτει δωρεάν δοκιμή 30 ημερών για την επαγγελματική έκδοση. Η τιμή για μια πλήρη έκδοση κυμαίνεται από 320 \$ έως 4312 \$ (Harris, 2011).

robotSim Pro / robotBuilder

Το robotBuilder είναι ένα πακέτο λογισμικού της Cogmation Robotics που επιτρέπει στους χρήστες να διαμορφώσουν μοντέλα και αισθητήρες ρομπότ. Στην Εικόνα 12 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο της οθόνης του εργαλείου. Οι χρήστες εισάγουν τα μοντέλα των ρομπότ και στην συνέχεια εισάγουν και τοποθετούν τους διαθέσιμους αισθητήρες στα ρομπότ και συνδέουν αυτούς τους αισθητήρες με τον ελεγκτή του ρομπότ. Οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν και να κατασκευάσουν νέα μοντέλα ρομπότ κομμάτι – κομμάτι. Το robotBuilder μπορεί να εισαγάγει μοντέλα ρομπότ που δημιουργήθηκαν σε άλλα προγράμματα 3D CAD, όπως η δωρεάν έκδοση του Google Sketchup. Η διαδικασία περιλαμβάνει την εξαγωγή του αρχείου Sketchup ως αρχείο COLLADA ή 3DS και στη συνέχεια την εισαγωγή του στο robotBuilder (Harris, 2011).



Εικόνα 12, Στιγμιότυπο robotSim Pro

Το robotSim Pro είναι ένας προηγμένος προσομοιωτής ρομποτικής 3D που χρησιμοποιεί μια μηχανή φυσικής για την προσομοίωση δυνάμεων και συγκρούσεων. Η μηχανή φυσικής είναι εμπορική και κλειστού κώδικα. Το RobotSim επιτρέπει την προσομοίωση πολλαπλών ρομπότ ταυτόχρονα και διαθέτει μερικά από τα πιο ρεαλιστικά γραφικά σε σχέση με τα υπόλοιπα εργαλεία. Η φυσική όλων των αντικειμένων μέσα σε ένα περιβάλλον προσομοίωσης μπορεί να τροποποιηθεί για να τα κάνει να μιμούνται πιο ρεαλιστικά. Τα δοκιμαστικά περιβάλλοντα μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν στο robotSim επιλέγοντας απλά αντικείμενα που θα τοποθετηθούν στον κόσμο της προσομοίωσης και θέτοντας τις θέσεις τους με το ποντίκι του υπολογιστή. Τα μοντέλα ρομπότ που δημιουργήθηκαν στο πρόγραμμα robotBuilder μπορούν να φορτωθούν στα δοκιμαστικά περιβάλλοντα. Τα ρομπότ μπορούν να ελεγχθούν με μία από τις τρεις μεθόδους: το Cogmation C ++ API, το LabVIEW ή οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού με δυνατότητες δικτύωσης (Harris, 2011).

Το robotSim είναι διαθέσιμο για 499 \$ ή ως πακέτο με το robotBuilder για 750 \$. Το Cogmation προσφέρει δωρεάν δοκιμαστική περίοδο 90 ημερών καθώς και έκπτωση ακαδημαϊκής άδειας (Harris, 2011).

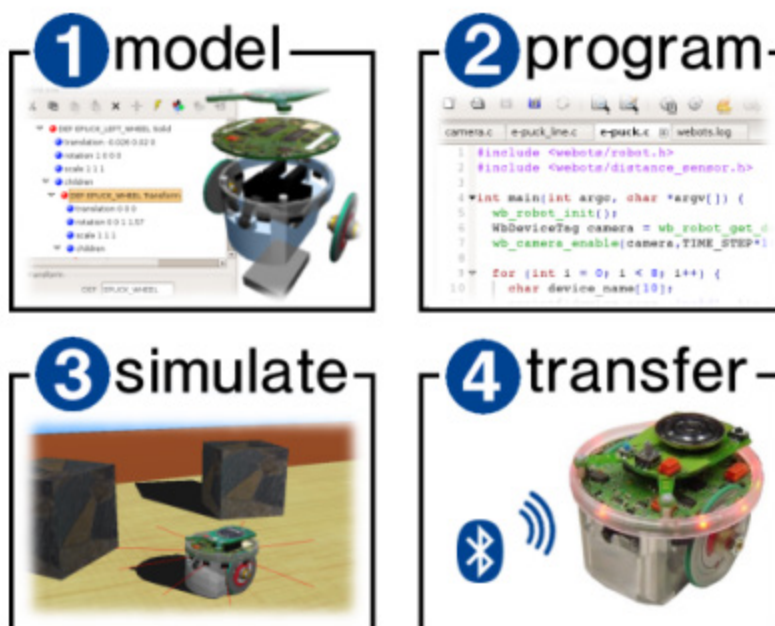
3.2 Webots

3.2.1 Παρουσίαση

Το Webots, όπως ήδη έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο, είναι ένας εμπορικός προσομοιωτής ρομπότ που χρησιμοποιείται για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων και προσομοίωση κινητών ρομπότ. Χρησιμοποιείται ευρέως για εκπαιδευτικούς σκοπούς και διαδικτυακούς διαγωνισμούς. Η ανάπτυξή του ξεκινά από το 1996 από τον Δρ Olivier Michel στο Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο Τεχνολογίας (EPFL, Swiss Federal Institute of Technology) στη Λωζάνη της Ελβετίας. Από τότε που έγινε εμπορικό προϊόν, το 1998, πωλήθηκε σε περισσότερα από 400 πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα σε όλο τον κόσμο. Τα κύρια πεδία της εφαρμογής του είναι (Mordenti, 2012):

- Γρήγορο πρωτότυπο ρομπότ με τροχούς και πόδια
- Σμήνος ευφυΐας (προσομοιώσεις πολλαπλών ρομπότ)
- Αρχική ζωή και εξελικτική ρομποτική
- Προσομοίωση προσαρμοστικής συμπεριφοράς
- Αρθρωτή ρομποτική που παραμετροποιείται από μόνη της
- Διαγωνισμοί διδασκαλίας και προγραμματισμού ρομπότ

Στην Εικόνα 13 παρουσιάζεται ένα έργο ρομποτικής σαν μία δραστηριότητα τεσσάρων βημάτων (Mordenti, 2012).



Εικόνα 13, Στάδια που συνθέτουν ένα έργο ρομποτικής χρησιμοποιώντας Webots (Mordenti, 2012)

Το πρώτο στάδιο αφορά τη σχεδίαση του φυσικού μοντέλου του περιβάλλοντος με το να γεμίσει με οποιοδήποτε είδος αντικειμένου όπως εμπόδια, τοίχους, σκάλες κ.λπ. Όλες οι φυσικές παράμετροι αυτών των αντικειμένων, όπως η κατανομή μάζας τους, ο συντελεστής τριβής, τα αντικείμενα οριοθέτησης και οι σταθερές απόσβεσης μπορούν να καθοριστούν σωστά προκειμένου να προσομοιωθεί και η φυσική τους. Στη συνέχεια πρέπει να συνθέσουμε το σώμα του ρομπότ συμπεριλαμβανομένων των άκρων, των αρθρώσεων, του ρότορα κ.λπ.. Όλα αυτά τα στοιχεία είναι τα δομικά στοιχεία του εκάστοτε ρομπότ και επιτρέπεται να τα τροποποιούμε (όπως θέλουμε) δυναμικά όσον αφορά το σχήμα, το χρώμα, τη θέση τους, τις φυσικές και τεχνικές ιδιότητες – σε περίπτωση αισθητήρων ή ενεργοποιητών (Mordenti, 2012).

Το δεύτερο στάδιο αποτελείται από τον προγραμματισμό συμπεριφοράς του ρομπότ. Το Webots παρέχει μια σημαντική γκάμα γλωσσών προγραμματισμού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό του ελέγχου, όπως Java, C, C ++, Matlab, Python, URBI και επιτρέπει την επικοινωνία με λογισμικό τρίτων μέσω του πρωτοκόλλου TCP / IP. Συνήθως, το πρόγραμμα ελέγχου του ρομπότ συλλέγει συνεχώς δεδομένα από τους αισθητήρες εισόδου, αιτιολογώντας αυτές τις πληροφορίες (τον πραγματικό πυρήνα της συμπεριφοράς του

ρομπότ) για να στείλει τις κατάλληλες οδηγίες και στην συνέχεια να στείλει εντολές στους ενεργοποιητές για να τις εκτελέσουν (Mordenti, 2012).

Το τρίτο στάδιο επιτρέπει στον προγραμματιστή να ξεκινήσει την προσομοίωση, έτσι ώστε να εξακριβώσει εάν το ρομπότ συμπεριφέρεται όπως αναμενόταν. Σε αυτό το βήμα είμαστε σε θέση να δούμε το πρόγραμμα του ρομπότ σε εκτέλεση και να αλληλεπιδρούμε δυναμικά με το περιβάλλον, μετακινώντας αντικείμενα ακόμη και το ρομπότ. Μπορούμε να προσομοιώσουμε σύνθετες συσκευές ρομποτικής, συμπεριλαμβανομένων των αρθρωτών μηχανικών μερών, πράγμα το οποίο απαιτεί ακριβή προσομοίωση φυσικής. Για να επιτευχθεί αυτό το Webots βασίζεται σε ένα ισχυρό εργαλείο που ονομάζεται ODE, μια μηχανή φυσικής που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των δυναμικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ σωμάτων στο χώρο. Η μηχανή προσομοίωσης Webots χρησιμοποιεί εικονικό χρόνο, επομένως, είναι πιθανό να εκτελεστεί η προσομοίωση πολύ πιο γρήγορα από ένα πραγματικό ρομπότ (έως και 300 φορές ταχύτερα). Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό που παρέχεται είναι η ευκαιρία ενεργοποίησης της λειτουργίας βήμα προς βήμα για λεπτομερή ανάλυση της συμπεριφοράς της προσομοίωσης (Mordenti, 2012).

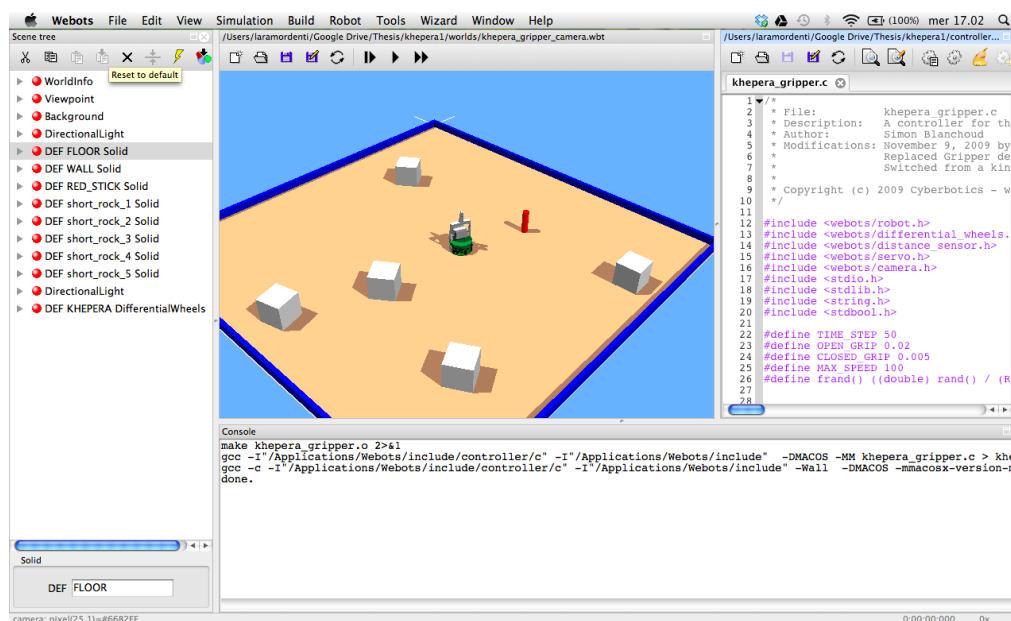
Το τελευταίο στάδιο είναι η μεταφορά του προγράμματος ελέγχου του ρομπότ σε ένα πραγματικό ρομπότ που θα τρέχει σε πραγματικό περιβάλλον. Εάν καθορίσουμε τη συμπεριφορά σωστά (σε όρους ενός κατάλληλου ρυθμιστή ρομπότ και ρυθμίσεων αισθητήρων / ενεργοποιητών, καθώς και εξαρτημάτων μέσα στο περιβάλλον) το πραγματικό ρομπότ θα πρέπει να έχει λίγο πολύ την ίδια συμπεριφορά με αυτή του αντίστοιχου προσομοιωτή του. Σε περίπτωση που αυτό δεν συμβεί πρέπει να επιστρέψουμε στα προηγούμενα στάδια και να διασφαλίσουμε ότι δεν έχουμε κάνει χονδροειδή λάθη. Εάν δεν κάναμε καθόλου ολίσθηση ίσως υπάρχει ανάγκη να διαμορφωθεί κατάλληλα το μοντέλο του ρομπότ (Mordenti, 2012).

Όσον αφορά τους αισθητήρες και τους ενεργοποιητές το Webots παρέχει πλήρεις βιβλιοθήκες, έτσι ώστε ο προγραμματιστής να μπορεί να εκμεταλλεύεται τις τιμές τους και να στέλνει εντολές. Μια μεγάλη επιλογή αισθητήρων μπορεί να συνδεθεί σε ένα ρομπότ, π.χ. αισθητήρες απόστασης, GPS, κάμερες, αισθητήρες φωτός, αισθητήρες αφής, γυροσκόπια, ψηφιακές πυξίδες και ούτω καθεξής. Ομοίως, μια χούφτα ενεργοποιητών μπορεί να προστεθεί, όπως σερβοκινητήρες (βραχίονες, πόδια, τροχός κ.λπ.), LED, πομποί, λαβές, στυλό, οθόνες, γραμμικοί κινητήρες (ιμάντες). Ένα άλλο πλεονέκτημα της χρήσης του Webots είναι ότι δεν χρειάζεται να δημιουργούμε το δικό μας ρομπότ και το περιβάλλον του από το μηδέν κάθε

φορά. Υπάρχουν διαθέσιμα πολλά παραδείγματα και εμπορικά μοντέλα ρομπότ, όπως τα Aibo, e-puck, e-puck, Lego Mindstorm και Khepera, που είναι έτοιμα προς χρήση (Mordenti, 2012).

Στην Εικόνα 14 παρουσιάζεται το γραφικό περιβάλλον ανάπτυξης του Webots το οποίο αποτελείται από τα ακόλουθα συστατικά (Mordenti, 2012):

- Δέντρο σκηνής στα αριστερά: σε αυτό ένας προγραμματιστής προσθέτει νέα αντικείμενα και επεξεργάζεται όλες τις ιδιότητες αυτών στον προσομοιωμένο κόσμο.
- 3D παράθυρο στη μέση: εδώ είναι δυνατόν να δείτε το προσομοιωμένο περιβάλλον και να αλληλοεπιδράσετε με αυτό.
- Πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου στα δεξιά: σε αυτό το συστατικό ένας προγραμματιστής μπορεί να γράψει τον κώδικα ελέγχου.
- Κονσόλα στο κάτω μέρος: παρουσιάζονται τα λάθη / προειδοποιήσεις σύνταξης κατά την μεταγλώττιση / εκτέλεση. Αυτό το συστατικό παίζει το ρόλο της τυπικής παραγωγής.



Εικόνα 14, Γραφικό περιβάλλον ανάπτυξη Webots (Mordenti, 2012)

3.2.2 Παραδείγματα Ρομποτικών Βραχιόνων

Για την δημιουργία ενός ρομποτικού βραχίονα χρησιμοποιήσαμε το πακέτο ROS 2 για Webots (automaticaddison, 2021). Το ROS 2 είναι ένα πακέτο που παρέχει τις απαραίτητες διεπαφές για την προσομοίωση ενός ρομπότ στον προσομοιωτή 3D ρομπότ ανοιχτού κώδικα του Webots. Το Webots επικοινωνεί με το ROS2 χρησιμοποιώντας μηνύματα, υπηρεσίες και ενέργειες του ROS2 (Lukić, 2021).

Προαπαιτούμενα

Εγκαταστήσαμε το ROS 2 Foxy Fitzroy σε λειτουργικό σύστημα Ubuntu Linux 20.04 (εάν χρησιμοποιείτε άλλη διανομή Linux, θα πρέπει να αντικαταστήσετε το "foxy" με το όνομα της διανομής σας) (automaticaddison, 2021).

Εγκατάσταση

Σε αυτή την παράγραφο θα παραθέσουμε αναλυτικά τα βήματα που κάναμε για την εγκατάσταση, τη δημιουργία και την επίδειξη ρομποτικών βραχιόνων στο Webots (automaticaddison, 2021).

Στην αρχή ανοίξαμε ένα νέο παράθυρο τερματικού στο Linux και δημιουργήσαμε έναν νέο χώρο εργασίας. Επιλέξαμε να ονομάσουμε αυτό το χώρο εργασίας ως «webots», αλλά ο καθένας μπορεί να δώσει το όνομα που επιθυμεί. Μέσα στο χώρο εργασίας δημιουργήσαμε έναν κατάλογο πηγής (δηλ. src) για τα πακέτα μας εκτελώντας την εντολή που παρατίθεται στην συνέχεια.

```
mkdir -p ~/webots/src
```

Για να πλοηγηθούμε στο χώρο εργασίας μας και να διαπιστώσουμε το καλώς έχειν εκτελούμε την παρακάτω εντολή.

```
cd ~/webots/src
```

Για να εγκαταστήσουμε το λογισμικό Webots ανοίξαμε ένα νέο παράθυρο τερματικού και πληκτρολογήσαμε την ακόλουθη εντολή:

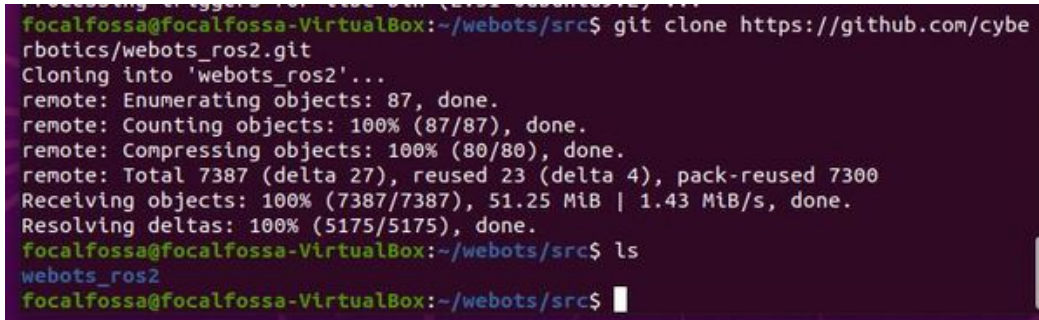
```
sudo apt-get install ros-$ROS_DISTRO-webots-ros2
```

Στην συνέχεια πληκτρολογήσαμε Υ στην ερώτηση που έγινε από το Linux και πατήσαμε Enter για να συνεχίσουμε. Το επόμενο βήμα είναι η κλωνοποίηση του αποθετηρίου (repostitory) από το GitHub στον χώρο εργασίας μας με την παρακάτω εντολή.

```
git clone https://github.com/cyberbotics/webots_ros2.git
```

Με την ακόλουθη εντολή εξακριβώσαμε ότι το πακέτο βρίσκεται στον φάκελο προέλευσης του χώρου εργασίας μας (βλέπε Εικόνα 15).

```
ls
```



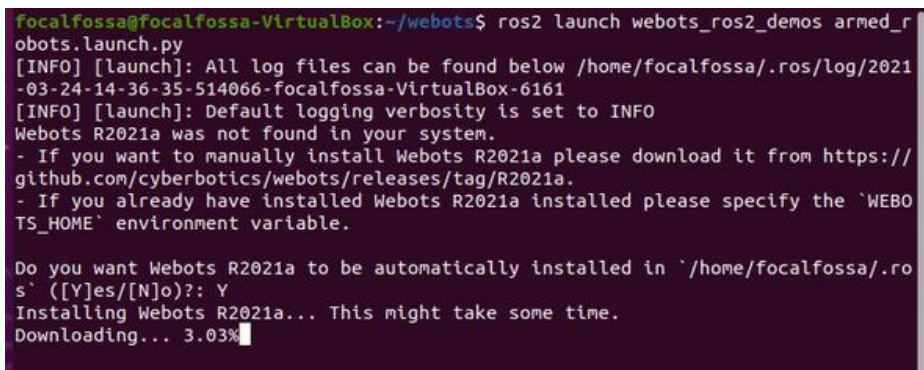
```
focalfossa@focalfossa-VirtualBox:~/webots/src$ git clone https://github.com/cyberbotics/webots_ros2.git
Cloning into 'webots_ros2'...
remote: Enumerating objects: 87, done.
remote: Counting objects: 100% (87/87), done.
remote: Compressing objects: 100% (80/80), done.
remote: Total 7387 (delta 27), reused 23 (delta 4), pack-reused 7300
Receiving objects: 100% (7387/7387), 51.25 MiB | 1.43 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (5175/5175), done.
focalfossa@focalfossa-VirtualBox:~/webots/src$ ls
webots_ros2
focalfossa@focalfossa-VirtualBox:~/webots/src$
```

Εικόνα 15, Εγκατάσταση και έλεγχος πακέτου ROS 2 (automaticaddison, 2021)

Προχωρώντας την διαδικασία ανοίξαμε ένα καινούργιο τερματικό στο Linux και δοκιμάσαμε να τρέξουμε το παράδειγμα από το URL https://github.com/cyberbotics/webots_ros2/tree/master/webots_ros2_demos. Παρακάτω παρατίθεται η εντολή που πληκτρολογήσαμε.

```
ros2 launch webots_ros2_demos armed_robots.launch.py
```

Με το που πληκτρολογήσαμε την παραπάνω εντολή ερωτηθήκαμε από το Linux εάν θέλαμε να εγκαταστήσουμε την τελευταία έκδοση του Webots. Σε αυτή την ερώτηση πληκτρολογήσαμε Y και πατήσαμε Enter. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημάνουμε ότι η εγκατάσταση του Webots διαρκεί κάποια ώρα (βλέπε Εικόνα 16).

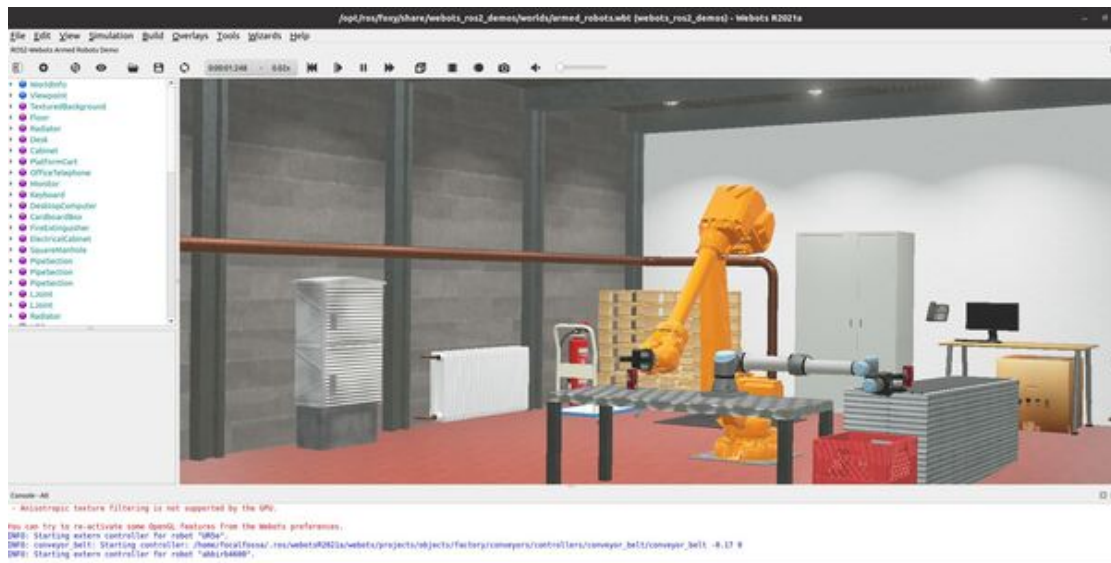


```
focalfossa@focalfossa-VirtualBox:~/webots$ ros2 launch webots_ros2_demos armed_robots.launch.py
[INFO] [launch]: All log files can be found below /home/focalfossa/.ros/log/2021-03-24-14-36-35-514066-focalfossa-VirtualBox-6161
[INFO] [launch]: Default logging verbosity is set to INFO
Webots R2021a was not found in your system.
- If you want to manually install Webots R2021a please download it from https://github.com/cyberbotics/webots/releases/tag/R2021a.
- If you already have installed Webots R2021a installed please specify the `WEBO TS_HOME` environment variable.

Do you want Webots R2021a to be automatically installed in `/home/focalfossa/.ros` ([Y]es/[N]o)? : Y
Installing Webots R2021a... This might take some time.
Downloading... 3.03%
```

Εικόνα 16, Εγκατάσταση Webots (automaticaddison, 2021)

Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση θα εμφανιστεί το ακόλουθο pop up παράθυρο (βλέπε Εικόνα 17).



Εικόνα 17, Ολοκλήρωση εγκατάστασης Webots (automaticaddison, 2021)

Στην συνέχεια πληκτρολογήσαμε CTRL + C σε όλα τα τερματικά παράθυρα για να τερματίσουμε το παράδειγμα. Μετά εκτελέσαμε τις ακόλουθες εντολές σειριακά:

```
cd webots/src/webots_ros2/webots_ros2_importer/webots_ros2_importer
git clone https://github.com/cyberbotics/urdf2webots.git
cd urdf2webots
pip3 install -r requirements.txt
```

Σε αυτό το σημείο επειδή αντιμετωπίσαμε πρόβλημα κατά την δημιουργία του πακέτου εκτελέσαμε τις ακόλουθες εντολές:

```
cd ~/webots/src
rmdir webots_ros2
```

Με την επιτυχή εκτέλεση των παραπάνω εντολών κατεβάσαμε το πακέτο πάλι δίνοντας τις εντολές που ακολουθούν.

```
cd ~/webots/src
git clone --recurse-submodules -b $ROS_DISTRO
https://github.com/cyberbotics/webots_ros2.git webots_ros2
```

Δημιουργία

Το επόμενο βήμα που κάναμε είναι να πάμε στην βάση / ρίζα του χώρου εργασίας πληκτρολογώντας την παρακάτω εντολή.

```
cd ~/webots/
```

Στην συνέχεια ελέγξαμε τις εξαρτήσεις με τις ακόλουθες εντολές.

```
rosdep update  
rosdep install --from-paths src --ignore-src --rosdistro $ROS_DISTRO  
colcon build
```

Μετά προσθέσαμε τον χώρο εργασίας στο αρχείο `bashrc` με την παρακάτω εντολή.

```
gedit ~/.bashrc
```

Στο τέλος του `bash` αρχείου προσθέσαμε την ακόλουθη γραμμή:

```
source ~/webots/install/setup.bash
```

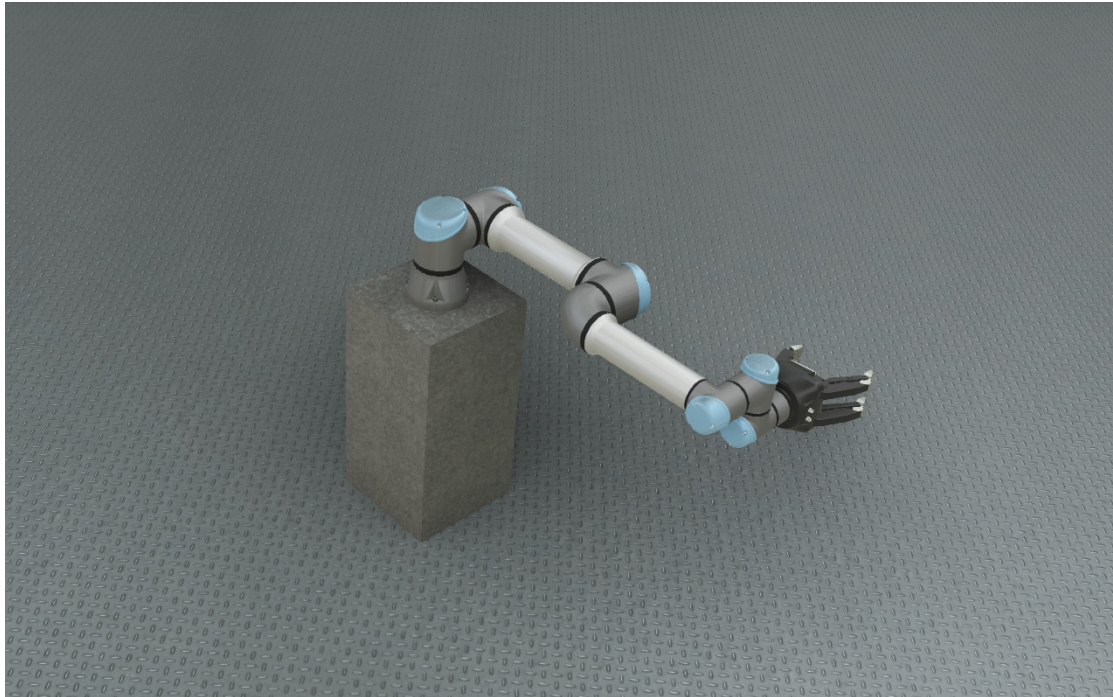
Επίδειξη

Ο κώδικας των παραδειγμάτων που θα παρουσιάσουμε στην συνέχεια βρίσκεται στο URL https://github.com/cyberbotics/webots_ros2/tree/master/webots_ros2_demos και είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού Python.

UR5e

Αυτό το παράδειγμα περιέχει ένα ρομποτικό βραχίονα UR5e σε ένα πολύ απλό περιβάλλον (Lukić, 2021). Για να τρέξουμε το παράδειγμα με τον ρομποτικό βραχίονα UR5e ανοίγουμε ένα παράθυρο στο λειτουργικό σύστημα και εκτελούμε την εντολή που ακολουθεί (βλέπε Εικόνα 18).

```
ros2 launch webots_ros2_universal_robot universal_robot.launch.py
```

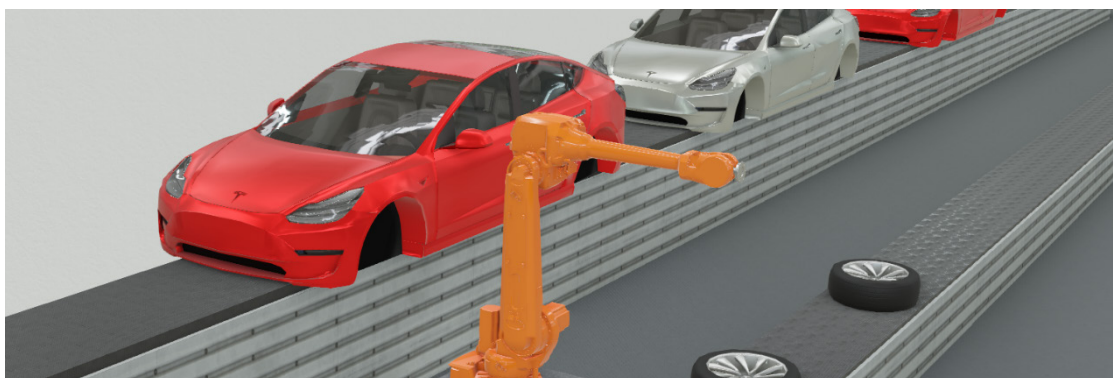



Εικόνα 18, Παράδειγμα ρομποτικού βραχίονα UR5e (Lukić, 2021)

ABB IRB4600

Το IRB 4600 είναι ένα πολύ παραγωγικό ρομπότ γενικής χρήσης, βελτιστοποιημένο για μικρούς κύκλους, όπου τα συμπαγή ρομπότ μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία κυψελών υψηλής πυκνότητας (Lukić, 2021). Για να τρέξουμε το παράδειγμα με τον ρομποτικό βραχίονα IRB 4600 ανοίγουμε ένα παράθυρο στο λειτουργικό σύστημα και εκτελούμε την εντολή που ακολουθεί (βλέπε Εικόνα 19).

```
ros2 launch webots_ros2_abb abb_irb4600.launch.py
```

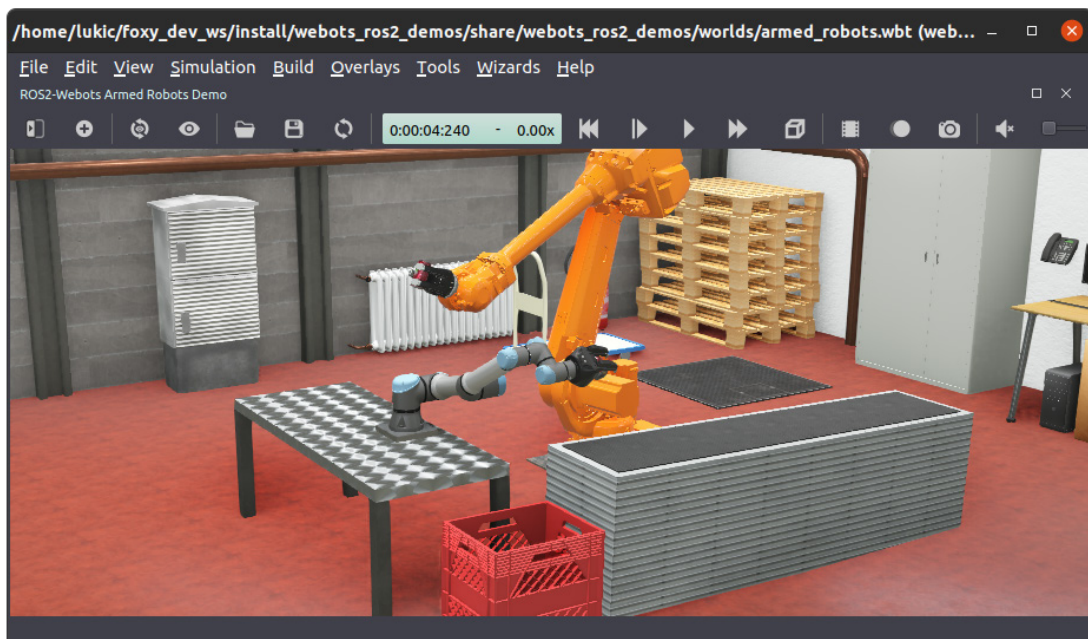


Εικόνα 19, Παράδειγμα ρομποτικού βραχίονα IRB 4600 (Lukić, 2021)

UR5e και IRB 4600

Αυτό το παράδειγμα δείχνει πώς μπορείτε να κάνετε τον έλεγχο πολλαπλών ρομπότ για να συνεργαστείτε σε μία μόνο προσομοίωση (Lukić, 2021). Για να τρέξουμε το παράδειγμα με τους ρομποτικούς βραχίονες UR5e and IRB 4600 ανοίγουμε ένα παράθυρο στο λειτουργικό σύστημα και εκτελούμε την εντολή που ακολουθεί (βλέπε Εικόνα 20).

```
ros2 launch webots_ros2_demos armed_robots.launch.py
```



Εικόνα 20, Παράδειγμα με ρομποτικούς βραχίονες UR5e and IRB 4600 (Lukić, 2021)

UR3e και UR5e

Αυτό το παράδειγμα περιέχει ένα ρομπότ UR3e και ένα ρομπότ UR5e σε ένα απλό εργοστασιακό περιβάλλον. Αυτό είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα που δείχνει πώς να χρησιμοποιήσετε την υποστήριξη πολλαπλών ρομπότ με τη διεπαφή Webots-ROS2 (Lukić, 2021). Για να τρέξουμε το παράδειγμα με τους ρομποτικούς βραχίονες UR3e και UR5e ανοίγουμε ένα παράθυρο στο λειτουργικό σύστημα και εκτελούμε την εντολή που ακολουθεί (βλέπε Εικόνα 21).

```
ros2 launch webots_ros2_universal_robot  
universal_robot_multiple.launch.py
```



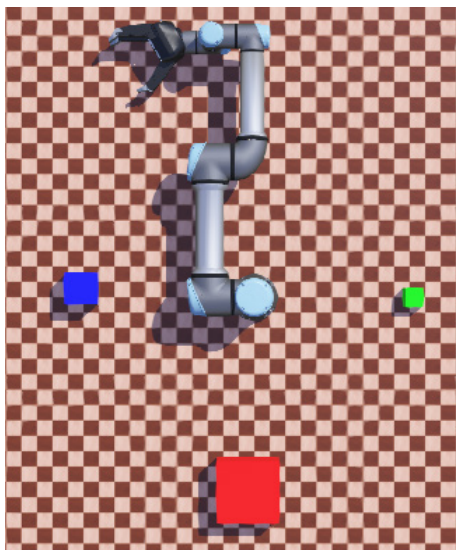

Εικόνα 21, Παράδειγμα με ρομποτικούς βραχίονες UR3e και UR5e (Lukić, 2021)

Το μοντέλο UR5e με την χρήση Matlab

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχτηκε είναι ότι έχει ενσωματωμένους αισθητήρες για όλες τις αρθρώσεις του. Το UR5E είναι ένα ρομπότ 6 βαθμών ελευθερίας (DOF) με αισθητήρες θέσης για κάθε βαθμό ελευθερίας. Αυτοί οι αισθητήρες βοηθούν στον εντοπισμό της θέσης κάθε motor και στην παρακολούθηση της κίνησης. Αυτό επιτρέπει τη χρήση του σε εφαρμογές όπως robotic pick-place, χειρισμό υλικών, εργασίες βαφής, εγκαταστάσεις συγκόλλησης κ.λπ. Το UR5e, βρίσκεται σε ορθογώνια αρένα, η οποία έχει πλάτος 3 μέτρα και μήκος 3 μέτρα. Τα πλακίδια του είναι ορθογώνια με μήκος $0,1$ μέτρο. Υπάρχουν επίσης τρία κουτιά με διαφορετικά μεγέθη. Ο στόχος του project είναι να προσομοιωθεί η κίνηση του ρομπότ έτσι ώστε να παίρνει το μεσαίο κουτί και να το τοποθετεί πάνω στο μεγάλο, και στη συνέχεια να παίρνει το μικρό κουτί και να το τοποθετεί πάνω στο μεσαίο. Μετά από αυτό το ρομπότ θα πρέπει να επιστρέψει στην αρχική θέση. Η μετατόπιση των κουτιών καθώς και ορισμένες άλλες λεπτομέρειες δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Object	Translation				Size		Color
Large box	-0.02	0.05	0.62	0.2	0.1	0.2	Red
Middle box	-0.55	0.05	-0.03	0.1	0.1	0.1	Blue
Small box	0.51	0.03	0	0.06	0.06	0.06	Green

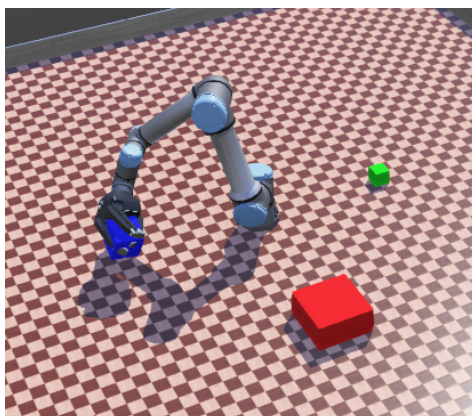
Το UR5e βρίσκεται στη μέση του συστήματος συντεταγμένων και έχει περιστροφή $-0,577$, $0,577$, $0,577$ και $2,09$. Ο controller προγραμματίστηκε χρησιμοποιώντας τη γλώσσα MATLAB. Σε ότι αφορά τις κινήσεις το ρομπότ, στην αρχή της προσομοίωσης το ρομπότ τοποθετείται έτσι ώστε κάθε μία από τις έξι αρθρώσεις του να έχει την τιμή 0.



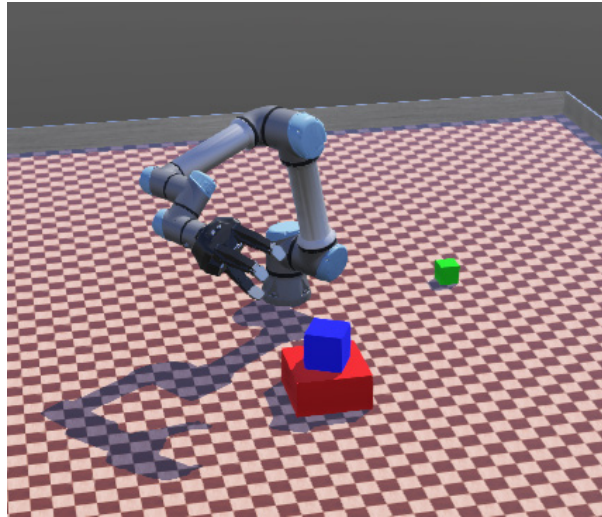
Εικόνα 22, Θέση εκκίνησης - άποψη από πάνω

Το ρομπότ θα κάνει συνολικά 10 κινήσεις:

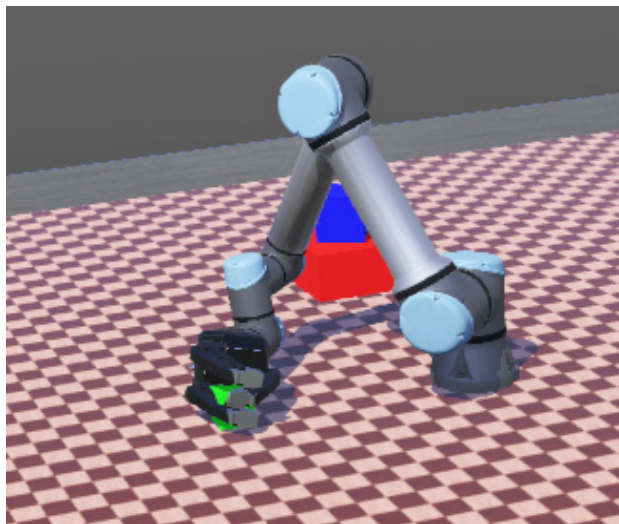
- 1) Πηγαίνει στο μεσαίο κουτί και το πιάνει.
- 2) Πηγαίνει στο μεγάλο κουτί και ετοιμάζεται να ρίξει το μεσαίο κουτί.
- 3) Μετακινεί τα μοτέρ του χεριού και ρίχνει το μεσαίο κουτί.
- 4) Μικρή κίνηση προς τα πίσω για να δημιουργήσει αρκετό χώρο μεταξύ του ρομπότ και των κουτιών.
- 5) Περιστροφή της άρθρωσης του ώμου.
- 6) Πηγαίνει στην κατάλληλη θέση για να σηκώσει το μικρό κουτί και το πιάνει.
- 7) Πηγαίνει στην κατάλληλη θέση για την απελευθέρωση του μικρού κουτιού.
- 8) Οι κινητήρες των χεριών κινούνται και ρίχνουν το μικρό κουτί.
- 9) Μετακίνηση όλων των αρθρώσεων στην αρχική θέση, εκτός από την άρθρωση του ώμου.
- 10) Μετακίνηση την άρθρωση του ώμου στην αρχική θέση.



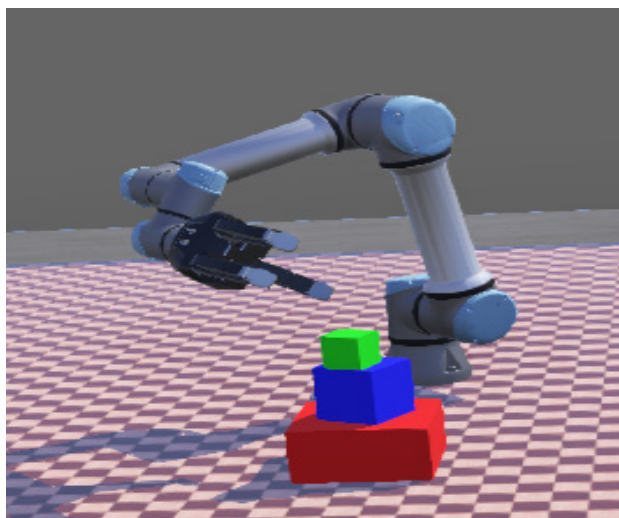
Εικόνα 23, Ολοκλήρωση της πρώτης κίνησης



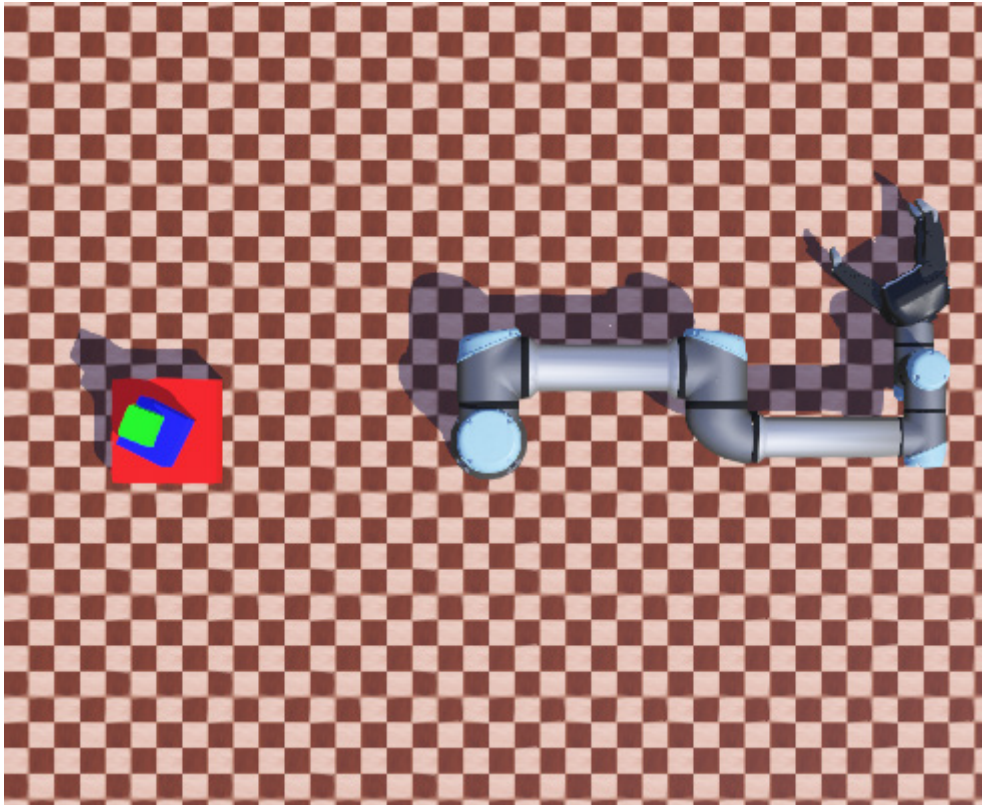
Εικόνα 24, Ολοκλήρωση της τέταρτης κίνησης



Εικόνα 25, Ολοκλήρωση της έκτης κίνησης



Εικόνα 26, Ολοκλήρωση της όγδοης κίνησης



Εικόνα 27, Τελική θέση

Σε ότι αφορά την ρύθμιση του Webots μέσω του matlab, αρχικά εγκαταστήσαμε την έκδοση της MATLAB R2015b, ακολουθώντας την κανονική διαδικασία εγκατάστασης. Αφού εγκατασταθεί επιτυχώς το MATLAB, το επόμενο πράγμα που πρέπει να γίνει είναι η εγκατάσταση του λογισμικού WEBOTS σε κάποιον σταθερό ή φορητό υπολογιστή. Μόλις εγκατασταθούν και τα δύο λογισμικά, το επόμενο πράγμα που θα πρέπει να γίνει είναι η σύνδεση του WEBOTS στο MATLAB που είναι ήδη εγκατεστημένο στον υπολογιστή. Για την σύνδεση του WEBOTS χρειάστηκε ο μεταγλωττιστής MINGW CC για MATLAB που είναι διαθέσιμος στον παρακάτω σύνδεσμο:

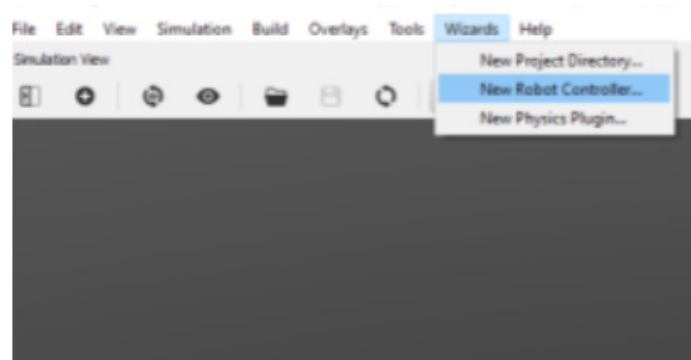
<https://fr.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52848-matlab-support-for-mingw-w64-c-c-compiler>

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, το WEBOTS υποστηρίζει την γλώσσα Matlab. Όλες οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στο MATLAB (για τη δημιουργία του αρχείου .m) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προγραμματισμό controllers για όλα τα ρομπότ αυτής της πλατφόρμας.

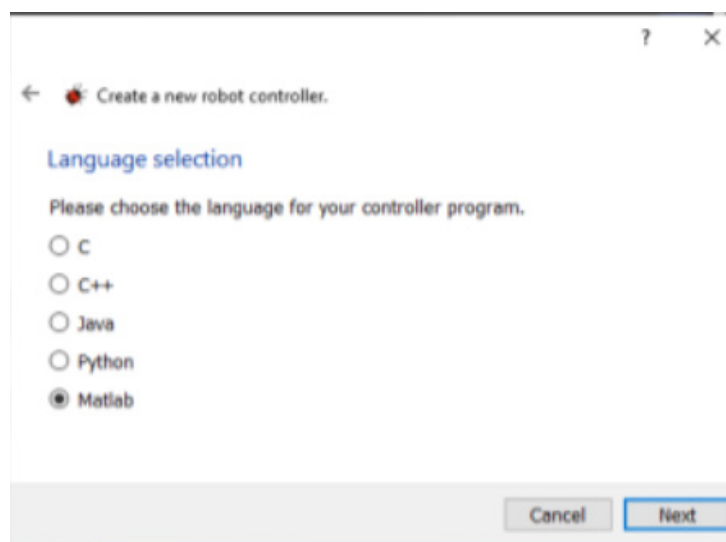
Οι εντολές και οι απλές προγραμματιστικές δομές του MATLAB που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση είναι οι εξής:

01. Δήλωση μεταβλητών
02. Δήλωση Arrays
03. Βρόγχοι For
04. Δομή ελέγχου If
05. Η εντολή Disp (για την εμφάνιση τιμών/κειμένου)

Τα Webot έχουν προκαθορισμένες λειτουργίες για τον έλεγχο κάθε ρομπότ για κάθε κατηγορία που υποστηρίζει. Είτε πρόκειται για ρομποτικό βραχίονα σε προσομοιωμένο περιβάλλον είτε για κάποιο πραγματικό τροχοφόρο ρομπότ. Ο προγραμματιστής θα πρέπει να σχεδιάσει έναν ελεγκτή στην επιλεγμένη γλώσσα και να τον προγραμματίσει σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Για τον προγραμματισμό ενός νέου controller επιλέγουμε “Wizards” -> "New Robot Controller" από το μενού, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, και επιλέγουμε τη γλώσσα MATLAB για να συνεχίσουμε.



Εικόνα 28, Δημιουργία νέου controller



Εικόνα 29, Επιλογή της γλώσσας προγραμματισμού

Μόλις επιλεγεί η γλώσσα προγραμματισμού, μπορούμε στη συνέχεια να προγραμματίσουμε τον ελεγκτή μας. Στην περίπτωση μας, ο ελεγκτής είναι προγραμματισμένος να επιλέγει και να τοποθετεί το αντικείμενο από τη μια θέση στην άλλη. Το ρομπότ είναι προγραμματισμένο με feedback control. Η θέση του κάθε motor παρακολουθείται συνεχώς και εμφανίζεται στο παράθυρο της κονσόλας στο MATLAB. Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας για τη λειτουργία του ρομποτικού βραχίονα σε γλώσσα MATLAB για το Controller:

```
counter=0;
counter2=0;
counter3=0;
counter4=0;
counter5=0;
counter6=0;
counter7=0;
counter8=0;
counter9 = 0;
counter10 =0;
counter11 = 0;
TIME_STEP = 64; %Variable for time step of simulation. 64ms is step size
for each step of motors.
speed = 1.0; %Variable for speed of motors
%pick_pos=[-0.7854, 2, -2, 1.5707,-0.3927, 0.19635];
pick_pos=[-1.1, 2.2, 0.772, -1, -0.1, -0.3]; %Position of the object from
where to pick
place_pos=[-1.5,0,-0.9,0.002,0,0.5]; % Position matrix for robotic arm
where to place the object.
next=0; %Variable used to move to the next state.
hand_motors(1) = wb_robot_get_device('finger_1_joint_1'); % Gripper 1st
motor (finger)
    hand_motors(2) = wb_robot_get_device('finger_2_joint_1'); %Gripper 2nd
Motor (2nd Finger)
    hand_motors(3) = wb_robot_get_device('finger_middle_joint_1'); %Gripper
third motor (Thumb)
ur_motors(1) = wb_robot_get_device('shoulder_lift_joint'); % Defining the
variable for the Shoulder lift joint
    ur_motors(2) = wb_robot_get_device('elbow_joint'); %Defining the variable
for the Elbow Joint
    ur_motors(3) = wb_robot_get_device('shoulder_pan_joint'); % Defining the
variable for Shoulder Pan Joint
    ur_motors(4)= wb_robot_get_device('wrist_1_joint'); %Defining the
variable first wrist joint
    ur_motors(5) = wb_robot_get_device('wrist_2_joint'); %defining the
variable for the wrist 2nd joint
ur_motors(6) = wb_robot_get_device('wrist_3_joint'); %Defining the variable
for the wrist 3rd joint
%DoF Sensors
shoulderLiftJoint_sensor =
wb_robot_get_device('shoulder_lift_joint_sensor'); % getting the device
shoulder_lift_joint
    wb_position_sensor_enable(shoulderLiftJoint_sensor, TIME_STEP); %
enabling the position sensor for shoulder lift joint
elbowJoint_sensor = wb_robot_get_device('elbow_joint_sensor'); % getting
the device elbow joint sensor
    wb_position_sensor_enable(elbowJoint_sensor, TIME_STEP); % enabling the
position sensor for elbow joint sensor
```

```

shoulderJoint_sensor = wb_robot_get_device('shoulder_pan_joint_sensor');
%getting the device shoulder pan joint sensor
wb_position_sensor_enable(shoulderJoint_sensor, TIME_STEP); %enabling the
position sensor for shoulder pan joint
wrist1Joint_sensor = wb_robot_get_device('wrist_1_joint_sensor'); % getting
the device wrist 1 joint sensor
wb_position_sensor_enable(wrist1Joint_sensor, TIME_STEP); % enabling the
wrist 1 joint sensor
wrist2Joint_sensor = wb_robot_get_device('wrist_2_joint_sensor'); % getting
the device wrist 2 joint sensor
wb_position_sensor_enable(wrist2Joint_sensor, TIME_STEP); % enabling the
wrist 2 joint sensor
wrist3Joint_sensor = wb_robot_get_device('wrist_3_joint_sensor'); %getting
the device wrist 3 joint sensor
wb_position_sensor_enable(wrist3Joint_sensor, TIME_STEP); %enabling the
wrist 3 joint sensor
N=6;
%Here we are setting speed for all 6 motors (6 DOF) of robotic arm
for i=1:N
    wb_motor_set_velocity(ur_motors(i), speed);
end
% Here all configurations are done so displaying Configurations done!
disp('Configurations Done! \n');

%Running the arm
disp('Running the Arm. . . \n');

% main loop:
% perform simulation steps of TIME_STEP milliseconds
% and leave the loop when Webots signals the termination

% Here the main while loop of our code starts.
while wb_robot_step(TIME_STEP) ~= -1
    % Declaring the variables for each sensors for the 6DOF arm and
    getting the position values.
    shoulderLiftSense =
wb_position_sensor_get_value(shoulderLiftJoint_sensor);
    elbowJointSense = wb_position_sensor_get_value(elbowJoint_sensor);
    shoulderPanSense = wb_position_sensor_get_value(shoulderJoint_sensor);
    wrist1Sense = wb_position_sensor_get_value(wrist1Joint_sensor);
    wrist2Sense = wb_position_sensor_get_value(wrist2Joint_sensor);
    wrist3Sense = wb_position_sensor_get_value(wrist3Joint_sensor);

    % Storing the sensor values for 6DOF motors in the matrix "Sensor"
    Sensors = [shoulderLiftSense, elbowJointSense, shoulderPanSense,
                wrist1Sense, wrist2Sense, wrist3Sense];
    % Printing the matrix for sensor values.
    disp(Sensors);
% Default value of next is 0, this is our default case where the motors (6
DOF)
% will move from the home position to the pick position to pick the
object.
if(next==0)
    for c= 1:6 % Move all the 6 motors of arm to the pick position defined
in matrix "pic_pos"
        wb_motor_set_position(ur_motors(c), pick_pos(c));
    end
    % Get the value of elbow joint sensor. This is used as feedback.
    pos = wb_position_sensor_get_value(elbowJoint_sensor);

```

```

    % When the elbow sensor value is greater than 2.1999 the gripper
    grips the object to pick.
    if (pos > 2.1999)
        for x = 1:3 %Move the gripper motors so that it picks the object.
            wb_motor_set_position(hand_motors(x), 1);
        end
        % Print the current act of motor.

        %This counter runs to ensure the gripping is done completely.
        counter = counter+1;
        if (counter>4) %Once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            % counter=0;
            next =1;
            end

        end
    end
    if(next==1)
        counter2 = counter2 +1;
        pos_2 = [-1.32, 1.9, 2.4, -1, -0.1, -0.3];
        for x = 1:6 % Move the grippng motors to the default position to
release the object.
            wb_motor_set_position(ur_motors(x), pos_2(x));
        end
        if (counter2>40) %Once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            % counter=0;
            next =2;

        end
    end

    if(next == 2)
        counter3 = counter3+1;
        for y = 1:3 % Move the grippng motors to the default position to
release the object.
            %Move the gripper motors so that it releases the object.
            wb_motor_set_position(hand_motors(y),
wb_motor_get_min_position(hand_motors(y)));
        end

        if(counter3 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            next = 3;
        end

    end

    if(next == 3)
        counter4 = counter4 + 1;
        % Robots moves just a bit, so that it does not hit the object that it
        % just placed
        wb_motor_set_position(ur_motors(3), 2.2);
        wb_motor_set_position(ur_motors(2), 1.5);
        if(counter4 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            next = 4;
        end
    end
end

```



```

    if(next == 4)
        counter5 = counter5 + 1;
        wb_motor_set_position(ur_motors(3), 3.91); % shoulder rotates to the
next state

        if(counter5 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            next = 5;
        end
    end

    if(next == 5)

        pick_small = [-1.05, 2.2, 3.91, -1, -0.1, -0.3];
        for x = 1:6 % position for picking the small box
            wb_motor_set_position(ur_motors(x), pick_small(x));
        end
        pos = wb_position_sensor_get_value(elbowJoint_sensor); % feedback
information
        if pos > 2.19999
            for x = 1:3 %Move the gripper motors so that it picks the object.
                wb_motor_set_position(hand_motors(x), 1);
            end
            counter6 = counter6 + 1;

        end

        if(counter6 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            next = 6;
        end

    end

    if (next == 6)
        pos_3 = [-1.35, 1.8, 2.5, -1, -0.1, -0.3];
        for x = 1:6 % Move the robot motors to the position to release the
object.
            wb_motor_set_position(ur_motors(x), pos_3(x));
        end
        counter7 = counter7 + 1;
        if (counter7>30) %Once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.

            next =7;
        end

    end

    if(next == 7)
        counter8 = counter8+1;
        for y = 1:3 % Move the grippng motors to the default position to
release the object.
            wb_motor_set_position(hand_motors(y),
wb_motor_get_min_position(hand_motors(y)));
        end
    end

```

```

        if(counter8 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.
            next = 8;
        end

    end

    if(next == 8)
        counter9 = counter9 + 1;
        going_back = [-1.35, 0, 0, 0, 0, 0]; % only shoulder has non-zero value
so that robot does not hit the floor
        % while moving other parts
        for x = 1:6 % robot starts moving to the starting position
            wb_motor_set_position(ur_motors(x), going_back(x));
        end
        if(counter9 > 30) %once the counter is elapsed, the robot arm moves to
next state.

            next = 9;
        end

    end

    if (next == 9) %
        wb_motor_set_position(ur_motors(1), 0); % shoulder goes to starting
position

    end
end

```

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΠΙΛΟΓΟΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση ρομποτικών κατασκευών έχει πολλά να προσφέρει, όπως έχει ήδη αναφερθεί και να συμβάλει θετικά στην αύξηση των κινήτρων των μαθητών, στη δέσμευσή τους στη μάθηση, στη δημιουργικότητά τους και στη θετική τους στάση απέναντι στην εκπαίδευση και τα θέματά της μέσω της επίλυσης προβλημάτων ή αντιμετώπισης καταστάσεων. Συνεπώς, είναι αδιαμφισβήτητη η σημασία της χρήσης ρομπότ ως εργαλείων, τόσο για την εισαγωγή στο πεδίο της ρομποτικής, όσο και για τη διδασκαλία των εννοιών του προγραμματισμού και της προσέγγισης STEM (Karatrantou & Panagiotakopoulos, 2017).

Τα εκπαιδευτικά ρομπότ παρέχουν στους δασκάλους την ευκαιρία να ενσωματώσουν εργασίες επίλυσης προβλημάτων στα προγράμματα μαθηματικών. Η χρήση εκπαιδευτικών ρομπότ είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για τη διδασκαλία και την εκμάθηση μαθηματικών μέσω της μάθησης που βασίζεται σε προβλήματα και έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί σε μια δημιουργική συνεργατική προσέγγιση που βασίζεται σε προβλήματα. Τα ρομπότ παρακινούν τους μαθητές να αναπτύξουν δημιουργικές δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων κατά τη διάρκεια μιας μαθησιακής προσέγγισης που βασίζεται σε προβλήματα. Η ρομποτική υποστηρίζει τη μαθησιακή προσέγγιση που βασίζεται σε προβλήματα και είναι ένα αποτελεσματικό και συναρπαστικό εργαλείο για τη δημιουργία και επίλυση προβλημάτων. Επίσης, η ρομποτική βελτιώνει τις δημιουργικές δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων των μαθητών. Επομένως, η χρήση της ρομποτικής είναι μια αποτελεσματική προσέγγιση για την επίλυση προβλημάτων μέσω της μάθησης που βασίζεται σε προβλήματα και βελτιώνει την κατανόηση των μαθητών στα θέματα που πραγματεύεται το STEM (Khanlari, 2014).

Αν και υπάρχουν αρκετά λογισμικά εικονικής πραγματικότητας για ρομποτικά έργα δυστυχώς τα ποιο αξιόλογα είναι εμπορικά και κάποιος που θέλει να τα χρησιμοποιήσει πρέπει να καταβάλει ένα σημαντικό αντίτιμο. Αυτό είναι λογικό εάν σκεφτούμε τον χώρο στον οποίο προσφέρονται και τις δυνατότητες που παρέχουν. Συνεπώς, η ενασχόληση με τα ποιο αξιόλογα λογισμικά θα πρέπει να γίνει είτε στα πλαίσια κάποιου ακαδημαϊκού προγράμματος είτε στα πλαίσια κάποιας εκπαιδευτικής δραστηριότητας για να παρέχεται δωρεάν το λογισμικό στους χρήστες. Ωστόσο, οι δυνατότητες που παρέχονται καλύπτουν το κόστος που κάποιος θα κληθεί να πληρώσει για την χρήση αυτών των λογισμικών, καθώς είναι δυνατός ο σχεδιασμός ενός ρομπότ και η προσομοίωση του σε ρεαλιστικές συνθήκες που προσομοιάζουν τον πραγματικό

κόσμο. Αυτό όμως που είναι αναφαίρετο κομμάτι όλων των λογισμικών είναι οι βασικές και όχι μόνο γνώσεις προγραμματισμού. Εξυπακούεται ότι οι χρήστες αυτών των λογισμικών πρέπει να γνωρίζουν καλά την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Βέβαια υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσουν τα συγκεκριμένα λογισμικά. Ορισμένες από αυτές τις προκλήσεις είναι οι ακόλουθες (Afzal, Katz, Goues, & Timperley, 2020):

- Απόκλιση από την πραγματικότητα: ο προσομοιωτής δεν αναπαράγει επαρκώς την πραγματική συμπεριφορά του ρομπότ σε βαθμό που να είναι τελικά οφέλιμες οι λειτουργίες του.
- Πολυπλοκότητα: ο χρόνος και οι πόροι που απαιτούνται για τη ρύθμιση ενός προσομοιωτή που να παράγει αποτελέσματα με ακρίβεια θα μπορούσαν να δαπανηθούν σε άλλες αποτελεσματικότερες δραστηριότητες.
- Έλλειψη δυνατοτήτων: οι προσομοιωτές ενδέχεται να μην διαθέτουν όλες τις δυνατότητες που επιθυμούν οι χρήστες ή αυτοί που τις διαθέτουν ενδέχεται να είναι απαγορευτικά δαπανηροί.
- Δυνατότητα αναπαραγωγής: οι προσομοιώσεις δεν είναι ντετερμινιστικές, καθιστώντας δύσκολη την επανάληψη προσομοιώσεων, την αναπαραγωγή ζητημάτων που αντιμετωπίζονται κατά την προσομοίωση ή σε πραγματικό υλικό και εντοπίζουν προβλήματα.
- Σενάριο και κατασκευή περιβάλλοντος: είναι δύσκολο να δημιουργηθούν σενάρια και περιβάλλοντα που απαιτούνται για τη δοκιμή του συστήματος σε προσομοίωση.
- Κόστος πόρων: η υπολογιστική επιβάρυνση της προσομοίωσης απαιτεί ειδικό υλικό και υπολογιστικούς πόρους που προστίθενται στο οικονομικό κόστος των δοκιμών.
- Λειτουργίες αυτοματισμού: ο προσομοιωτής δεν έχει σχεδιαστεί για να χρησιμοποιείται για αυτοματοποιημένες δοκιμές και δεν επιτρέπει εκτέλεση χωρίς επίβλεψη, σενάριο ή παράλληλη εκτέλεση.
- Συνεχής ενοποίηση: είναι δύσκολο να αναπτυχθεί ο προσομοιωτής σε κατάλληλα περιβάλλοντα για συνεχή ενοποίηση (π.χ. διακομιστές του υπολογιστικού νέφους).
- Αξιοπιστία προσομοιωτή: η προσομοίωση δεν είναι αρκετά αξιόπιστη για να χρησιμοποιηθεί στον αυτοματοποιημένο έλεγχο, όσον αφορά τη σταθερότητα του

λογισμικού του προσομοιωτή και τα ζητήματα συγχρονισμού που εισάγει ο προσομοιωτής.

- Έλλειψη συνεκτικότητας της διεπαφής: η διεπαφή του προσομοιωτή δεν είναι αρκετά συνεκτική ή επαρκώς τεκμηριωμένη, έτσι ώστε να λειτουργεί με υπάρχοντα κώδικα ή δοκιμές αγωγών.

Το ποιο αξιόλογο από τα λογισμικά εικονικής πραγματικότητας για ρομποτικές εφαρμογές είναι το λογισμικό που χρησιμοποιήσαμε, το Webots. Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα δυνατό εργαλείο που χρησιμοποιείται τόσο ερευνητικά όσο και επαγγελματικά. Προσφέρει μεγάλες δυνατότητες σχεδίασης ρομποτικών εφαρμογών και προσομοίωσής τους σε ένα περιβάλλον αρκετά κοντά με το πραγματικό. Παρέχει πληθώρα δυνατοτήτων και επιλογών στους χρήστες του που είναι αρκετές για να προβούν στον σχεδιασμό και προσομοίωση ρομποτικών εφαρμογών που ποικίλουν από μικρούς ρομποτικούς βραχίονες μέχρι και ρομποτικά συστήματα συναρμολόγησης βιομηχανικού επιπέδου. Το εικονικό περιβάλλον που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση των ρομποτικών εφαρμογών είναι από τα πληρέστερα της αγοράς.

Ωστόσο, το Webots απευθύνεται σε χρήστες που είναι εξοικειωμένοι τόσο με τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές όσο και με τον προγραμματισμό. Οι χρήστες του Webots πέρα από ρομποτική πρέπει να είναι εξοικειωμένοι και με το λειτουργικό σύστημα Linux. Αν και δεν είναι κάτι το ιδιαίτερο το Linux, ωστόσο απαιτεί κάποιο χρόνο από τους χρήστες για να εξοικειωθούν με αυτό και να εργάζονται απροβλημάτιστα. Αυτό δεν είναι υποχρεωτικό να ισχύει για όλους τους χρήστες, αλλά σίγουρα για την πλειοψηφία τους καθώς το λειτουργικό σύστημα Windows της Microsoft έχει επικρατήσει στην αγορά. Πέρα από την εξοικείωση με το λειτουργικό σύστημα οι χρήστες του Webots απαιτείται να γνωρίζουν προγραμματισμό και ποιο συγκεκριμένα γλώσσα προγραμματισμού Python. Ο προγραμματισμός δεν είναι δύσκολος και ενίοτε μπορεί να θεωρηθεί σαν παιχνίδι και να είναι διασκεδαστικός, ωστόσο απαιτεί σημαντική ενασχόληση και εμπειρία για την ανάπτυξη ποιο σύνθετων εφαρμογών. Η Python είναι μια ευρύτατα διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού και υπάρχει μεγάλη βιβλιογραφία και παραδείγματα. Αυτό όμως δεν παύει να απαιτεί προσπάθεια για την εξοικείωση μαζί της και χρόνο που θα πρέπει να αφιερωθεί.

Ένα από τα πλεονεκτήματα του Webots είναι ότι ο χρήστης δεν χρειάζεται να αντλεί μαθηματικό μοντέλο ρομπότ κάθε φορά, όπως στο Matlab για να εκτελεί μια προσομοίωση με

ακρίβεια και ρεαλιστικά. Αυτό συμβαίνει γιατί το Webots βασίζεται σε ένα ισχυρό ODE για να πραγματοποιήσει μια ακριβή προσομοίωση φυσικής. Ως εκ τούτου, είναι απαραίτητο μόνο να προσδιοριστούν οι φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων όπως η μάζα, ο πίνακας αδράνειας, οι διαστάσεις, οι συντελεστές τριβής κ.λπ. και το Webots θα φροντίσει για τα υπόλοιπα. Αυτό επιτρέπει στο Webot να προσομοιώσει σύνθετες ρομποτικές ρυθμίσεις με προσομοιώσεις που μπορούν να εκτελεστούν έως και 300 φορές ταχύτερα από το πραγματικό ρομπότ. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του Webots είναι η δυνατότητα μεταφοράς του κώδικα προγραμματισμού του Webots σε πραγματικό ρομπότ (Mandić & Lazarević, 2013).

Το Webots παρέχει μια πληθώρα παραδειγμάτων και γύρω από αυτό έχει αναπτυχθεί μια σημαντική κοινότητα χρηστών που μπορούν να μνησούν και να βοηθήσουν τον οποιοδήποτε θέλει να ασχοληθεί με αυτό. Στο επίσημο site του Webots υπάρχουν ορισμένες εφαρμογές που είναι διαθέσιμες και δείχνουν τις δυνατότητες του Webots (Cyberbotics Ltd., n.d.):

- Μία εφαρμογή δείχνει τη συγχώνευση δύο εικόνων κάμερας σε μία, προκειμένου να δημιουργηθεί μια εικόνα ανάγλυφου.
- Σε μία άλλη εφαρμογή, ένα ατσάλινο ρομπότ παίζει "Πύργους του Ανώι" στοιβάζοντας τρία χρωματιστά κουτιά.
- Ένα ρομπότ σε σχήμα εντόμου αποτελείται από ένα συνδυασμό συσκευών LinearMotor και RotationalMotor σε μία άλλη εφαρμογή.
- Δύο ρομπότ Koala (K-Team) σχηματίζουν κύκλους σε μια επιφάνεια που μοιάζει με φεγγάρι.
- Σε μία εφαρμογή δύο ομάδες απλών ρομπότ παίζουν ποδόσφαιρο. Ένας υπεύθυνος εποπτείας χρησιμοποιείται ως διαιτητής. μετρά τους στόχους και εμφανίζει την τρέχουσα βαθμολογία και τον υπόλοιπο χρόνο στην προβολή 3D.
- Επίσης, υπάρχει μία εφαρμογή μιας πλατφόρμας Stewart. Η πλατφόρμα Stewart είναι ένα είδος παράλληλου χειριστή που χρησιμοποιεί ένα οκτάεδρο συγκρότημα γραμμικών ενεργοποιητών.

Οι παραπάνω εφαρμογές επιδεικνύουν τις γενικότερες δυνατότητες του εργαλείου, αλλά δεν εστιάζουν σε ρομποτικούς βραχίονες. Στην διαθέσιμη βιβλιογραφία υπάρχουν εφαρμογές με ρομποτικούς βραχίονες, οι οποίες όμως δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα σημείο που να είναι διακριτό και εύκολα προσβάσιμο.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάσαμε μερικά παραδείγματα ρομποτικών βραχιόνων ξεκινώντας από ένα απλό σχετικά παράδειγμα και καταλήγοντας σε ένα πιο σύνθετο. Αυτό το σύνθετο ήταν, ένας ρομποτικός βραχίονας σε γλώσσα MATLAB, μέσω του περιβάλλον Webots που σκοπό είχε να βάλουμε με την βοήθεια αυτού του βραχίονα 3 κουτιά σε αύξουσα σειρά και μετά ο βραχίονας να τερματίζει την λειτουργία του. Αυτή η ενασχόλησή μας ήταν αρκετή για να μας μυήσει στον χώρο των ρομποτικών εφαρμογών και στις κινήσεις των βραχιόνων. Επίσης, και μας βοήθησε να δημιουργήσουμε ένα συνεκτικό υπόβαθρο πάνω στις εφαρμογές για ρομποτικούς βραχίονες. Βασιζόμενοι σε αυτό το υπόβαθρο, έχοντας πλέον κάνει την βασική βιβλιογραφική έρευνα και παρουσιάζοντας βασικά παραδείγματα, μία μελλοντική επέκταση της παρούσας εργασίας θα μπορούσε να ήταν η δημιουργία ασκήσεων και μελετών περίπτωσης στο Webots για μαθητές και σπουδαστές που θέλουν να εντρυφήσουν στο STEM και ειδικότερα στους ρομποτικούς βραχίονες. Αυτές οι ασκήσεις και οι μελέτες περίπτωσης θα μπορούν να είναι κλιμακούμενης δυσκολίας και για διαφορετικά επίπεδα γνώσης. Επίσης, θα μπορούσε να γίνει και μία επέκταση η οποία θα στοχεύει στην εξοικείωση με την γλώσσα προγραμματισμού Python για χρήση στο Webots. Οι παραπάνω επεκτάσεις θα μπορούσαν να γίνουν σε μία οι περισσότερες μελλοντικές εργασίες έχοντας το STEM και το Webots στον πυρήνα τους.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afzal, A., Katz, D. S., Goues, C. L., & Timperley, C. S. (2020). *A Study on the Challenges of Using Robotics Simulators for Testing*.
- Asada, H. (2005). Introduction to Robotics.
- automaticaddison. (2021, March 25). *How to Install and Demo the Webots Robot Simulator for ROS 2*. Ανάκτηση από Automatic Addison: <https://automaticaddison.com/how-to-install-and-demo-the-webots-robot-simulator-for-ros-2/>
- Craig, J. J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control*. Pearson Education International.
- Cyberbotics Ltd. (n.d.). *Demos*. Ανάκτηση από Webots User Guide: <https://www.cyberbotics.com/doc/guide/samples-demos>
- Harris, A. C. (2011). *DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUTONOMOUS ROBOTICS SIMULATOR*. Charlotte.
- Ivaldiy, S., Padoisy, V., & Nori, F. (n.d.). Tools for dynamics simulation of robots: a survey based on user feedback.
- Karatrantou, A., & Panagiotakopoulos, C. T. (2017). Educational Robotics and STEM Education in Primary Education: A Pilot Study Using the H&S Electronic Systems Platform. *Advances in Intelligent Systems and Computing*.
- Khanlari, A. (2014). *TEACHERS' PERCEPTIONS OF USING ROBOTICS IN PRIMARY/ELEMENTARY SCHOOLS IN NEWFOUNDLAND AND LABRADOR*.
- Krajcika, J., & Delenb, Í. (2017). Engaging learners in STEM education. *Eesti Haridusteaduste Ajakiri*, 35–58.
- Lukić, D. (2021, January 12). *cyberbotics / webots_ros2*. Ανάκτηση από GitHub: https://github.com/cyberbotics/webots_ros2
- Mandić, P., & Lazarević, M. (2013). An Application Example of Webots in Solving Control Tasks of Robotic System. *FME Transactions*.

Mordenti, A. (2012). *Programming Robots with an Agent-Oriented BDI-based Control Architecture: Explorations using the JaCa and Webots platforms*. Bologna.

Naziev, A. (2017). What is an education?

STEM Education: What Does Mathematics Have To Offer? (2012). *2nd International STEM in Education Conference*. Beijing.

Tselegkaridis, S., & Sapounidis, T. (2021). Simulators in Educational Robotics: A Review. *education sciences*.