

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр

Освітній рівень

Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора

Назва теми

КвРАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

Виконав:


студент 4 курсу, група АКІТ-20-1


Підпис

Олександр БОРЧЕНКО
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ


Керівник:

д-р техн. наук, проф.


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри автоматизації,
комп'ютерно-інтегрованих
технологій та робототехніки


Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«24» червня 2024 р.

Хмельницький 2024

Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та
робототехніки

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня-професійна програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою АКІТ та Р


В. Мерзляк

«10» 01 2024р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ





Борченко Олександр Анатолійович

- 1 Тема роботи: Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора
керівник роботи Мартинюк В.В., д.т.н, професор
Затверджено наказом по університету від «15» лютого 2024р. №8.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 01.06.2024р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина.
Розробка програми для вивчення робота-маніпулятора. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу: 11 презентаційних слайдів.

Завдання отримав 

Науковий керівник 

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., к.т.н., доцент каф. АКІТгаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., к.т.н., доцент каф. АКІТгаР		

7. Дата видачі завдань « 01 » 02 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1	Вступ	15.02.2024р.	Виконано
2	Огляд літературних джерел та патентних даних	15.03.2024р.	Виконано
3	Основна частина	10.04.2024р.	Виконано
4	Розробка програми для вивчення робота-маніпулятора	10.05.2024р.	Виконано
5	Висновки	15.05.2024р.	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки до КРБ	25.05.2024р.	Виконано
7	Оформлення презентаційних матеріалів	1.06.2024р.	Виконано

Студент


Підпис

О. Борченко
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

В. Мартинюк
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора».

Автор роботи: Борченко Олександр Анатолійович.

Керівник роботи: Мартинюк Валерій Володимирович

Пояснювальна записка: 66 с., 48 рис., 1 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 11 презентаційних слайдів.

ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИВЧЕННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА, МОВА ПРОГРАМУВАННЯ BLOCKLY, ОПЕРАЦІЙНА СИСТЕМА РОБОТІВ ROS2.

Мета кваліфікаційної роботи – розробка лабораторного стенду для вивчення робота-маніпулятора Dobot Magician та проведення лабораторних робіт.

Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора програмується на основі мови програмування Blockly. Робот-маніпулятор Dobot Magician використовує програмне забезпечення під назвою Dobot Studio. Програмне забезпечення Dobot Studio працює на основі графічного інтерфейсу користувача.







Підпис студента

03.06.2024

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ .	5
1.1. Особливості роботів-маніпуляторів	5
1.2. Особливості інтеграції та розгортання робототехнічних систем.....	11
1.3. Висновки до першого розділу	17
2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	18
2.1. Математична модель робота-маніпулятора.....	18
2.2. Імітаційна модель робота-маніпулятора	27
2.3. Висновки до другого розділу	36
3. РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ РОБОТА- МАНІПУЛЯТОРА.....	37
3.1. Особливості програмного забезпечення Dobot Studio	37
3.2. Розробка програми операції «Вибір і розміщення»	40
3.3. Розробка програми повторюваних операцій	52
3.5. Висновки до третього розділу.....	58
ВИСНОВКИ.....	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	61
Додатки.....	67

КРБАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ				
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
Виконав		Борченко О.А.		24.06.24р.
Перевір		Мартинюк В.В.		24.06.24р.
Т.Конт				
Н.контр.		Корецька Л.О.		24.06.24р.
Затвер.		Мартинюк В.В.		24.06.24р.
Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора				
Пояснювальна записка				
			Літера	Аркуш
			у	2
			Аркушів	
			66	
ХНУ, АКІТ-20-1				

ВСТУП

Актуальність теми.

Робот-маніпулятор Dobot Magician – це перший у світі настільний робот-маніпулятор. Він може виконувати широкий спектр завдань, таких як 3D-друк, лазерне гравірування, написання тексту та малювання. Доступно 13 інтерфейсних портів для підтримки лабораторних проєктів та навчальних програм з робототехніки.

Такі дослідження, як роботизовані системи, управління рухом роботів і програмування роботів, можуть бути викладені для студентів різних рівнів. Різноманітні сценарії застосування можуть бути розроблені завдяки використанню програмного забезпечення та апаратних аксесуарів для програмування.

Метою роботи є розробка лабораторного стенду для вивчення робота-маніпулятора, шляхом розробки алгоритму взаємодії із комп'ютером в реальному масштабі часу.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі **завдання**:

- розробити 3D імітаційна модель робота-маніпулятора Dobot Magician;
- розробити алгоритм роботи та програму «Вибір і розміщення» для Dobot Magician;
- розробити алгоритм роботи та програму повторюваних операцій для Dobot Magician.

Об'єктом дослідження є процес керування роботом-маніпулятором Dobot Magician.

Предметом дослідження є лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора Dobot Magician.

Практична значимість отриманих результатів.

У роботі розроблений лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора Dobot Magician. Використання лабораторного стенду для вивчення робота-маніпулятора Dobot Magician.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку. Загальний обсяг роботи складає 59 сторінок комп'ютерного тексту, у тому числі: 33 рисунки, список використаних джерел вміщує 23 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність кваліфікаційної роботи, сформульовано мету та задачі кваліфікаційної роботи, відображено її практичне значення.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: особливості роботів-маніпуляторів, особливості інтеграції та розгортання робототехнічних систем та особливості системи керування роботів-маніпуляторів.

У другому розділі розглянута математична модель робота-маніпулятора, розроблено імітаційну модель робота-маніпулятора Dobot Magician.

У третьому розділі розглянуто особливості програмного забезпечення Dobot Studio, розроблено програму для виконання операції «Вибір і розміщення», розроблено програму повторюваних операцій.

Цей тип руху спрощує повторювані рухи, наприклад операцію занурення або паяння. Висота Z визначається в параметрах JUMP в меню налаштувань.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПАТЕНТНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Особливості роботів-маніпуляторів

Інтеграція робототехнічних систем у виробничі лінії – це трудомісткий процес, який триває дні, місяці чи навіть роки. В епоху цифровізації дослідження та розробка нових технологій мають вирішальне значення для покращення інтеграційних процесів.

Численні проблеми, зокрема відсутність стандартизації та документації, а також складні відносини між зацікавленими сторонами ускладнюють процес інтеграції роботизованих систем. Цей процес зазвичай складається з придбання, інтеграції та розгортання робототехнічних систем, де зазвичай інтегратори робототехнічних систем частково нехтують розгортанням.

Щоб перевірити це твердження, використовується змішаний підхід за допомогою емпіричних, прикладних та логічних методів. Вони базувалися на опитуваннях та обговореннях з експертами, огляді літератури та розробці доказів концепції.

Ці ідеї та підходи покращують процес інтеграції роботизованих систем, пропонуючи цінний внесок, на який можуть спиратися майбутні дослідження, зрештою підвищуючи ефективність і знижуючи витрати.

Такі причини, як висока вартість робочої сили в західних країнах, призвели до все більшої автоматизації виробничих ліній [1]. Крім того, автоматизовані додатки стають складнішими, що вимагає більш інноваційного дизайну систем роботів. Витрати на інтеграцію роботів у виробничі лінії часто дорожчі, ніж вартість самого апаратного забезпечення [2].

Для просування сучасної інтеграції робототехнічних систем необхідно розуміти фундаментальні концепції, пов'язані з нею, наприклад роботизовані системи та залучені зацікавлені сторони.

Як зазначено в [3], дослідження інтеграції робототехнічних систем зосереджуються на апаратному та програмному забезпеченні безпосередньо, замість того, щоб досліджувати повний процес інтеграції. Це підтверджує припущення про те, що дослідження в цій галузі дуже обмежені. Таким чином, поєднання результатів, отриманих за допомогою різних методів дослідження, які можуть підтримувати один одного, є найбільш прийнятним.

Робототехнічна система визначається стандартом ISO 8373 [4] як система, що складається з одного або кількох роботів, кінцевих виконавців та інших пристроїв, які використовуються для підтримки робота у виконанні завдання.

До складу робототехнічної системи входять наступні пристрої.

1. Роботизована рука. Роботизовану руку також називається маніпулятором. Цей пристрій є основним пристроєм у системі робота, який використовується для маніпуляцій і може бути налаштований для виконання різних завдань, таких як переміщення об'єктів, полірування, складання та зварювання.

2. Пристрій кінцевого з'єднання. Цей пристрій під'єднується до наконечника роботизованої руки та використовується для легкого підключення та заміни різних кінцевих ефекторів на роботизовану руку.

3. Кінцевий ефектор. Цей пристрій прикріплюється роботизованої руки через пристрій кінцевого з'єднання і дозволяє роботу виконувати поставлене завдання. Існують різні типи кінцевих ефекторів, наприклад, викрутки можна використовувати для складання, а захвати можна

використовувати для додатків підбирання та розміщення, які описані більш детально нижче.

4. Система передачі даних. Ця система дає змогу роботизованій руці спілкуватися з кінцевим ефектором через кабель або блок керування. Блок керування надає додаткові функції, наприклад обробку сигналу. Як правило, пристрій кінцевого з'єднання, кінцевий ефектор і система передачі даних розробляються одним виробником.

5. Основа. Роботизовані руки зазвичай монтуються на базу, яка може бути мобільним роботом або стаціонарним модулем (з додатковими датчиками або без них). Роботизовані руки також можна встановити на стіну або стелю.

Усі ці пристрої можна з'єднати разом, щоб створити роботизовану систему, здатну виконувати певні завдання. Стандарт ISO 8373 [4] визначає модульність як «набір характеристик, які дозволяють розділяти системи на окремі модулі та рекомбінувати їх».

Модульні роботизовані системи дозволяють швидше розгорнути технологічні лінії, що призводить до дешевшої автоматизації [5]. Щоб створити модульну систему роботів, пристрої, зібрані разом, мають бути сумісними, взаємодіючими та відповідати завданням і вимогам роботизованої системи.

Технологічні операції вибору та розміщення - це технологічні операції, у яких роботизована рука переміщує об'єкти з одного місця в інше. Такі технологічні операції можуть бути спрямовані на пакування товарів у коробки, сортування товарів на конвеєрі, палетування або догляд за машиною.

Палетування передбачає розміщення предметів на піддоні. Догляд за верстатами складається з роботизованої руки, яка поміщає об'єкт у

верстат, наприклад, верстат з числовим програмним керуванням, і виймає об'єкт після того, як верстат обробить об'єкт.

Технологічні операції автоматизованого загвинчування гвинтів використовують роботизовану руку, у деяких випадках також гвинтоподавача, з якої роботизована рука може забирати гвинти, переміщувати їх у потрібне місце на об'єкті та закручувати гвинт. Технологічні операції автоматизованого загвинчування гвинтів використовуються для збирання та розбирання виробів.

Найбільш часто використовуваним типом роботизованих рук у виробництві є серійні маніпулятори. Такі маніпулятори складаються з серії ланок, як правило, твердих тіл, з'єднаних разом і приведених в дію двигунами [4], що розміщені на з'єднаннях. На рисунку 1.1 [6] наведено приклад роботизованої руки, яка складається із 4 суглобів та 4 ланок.

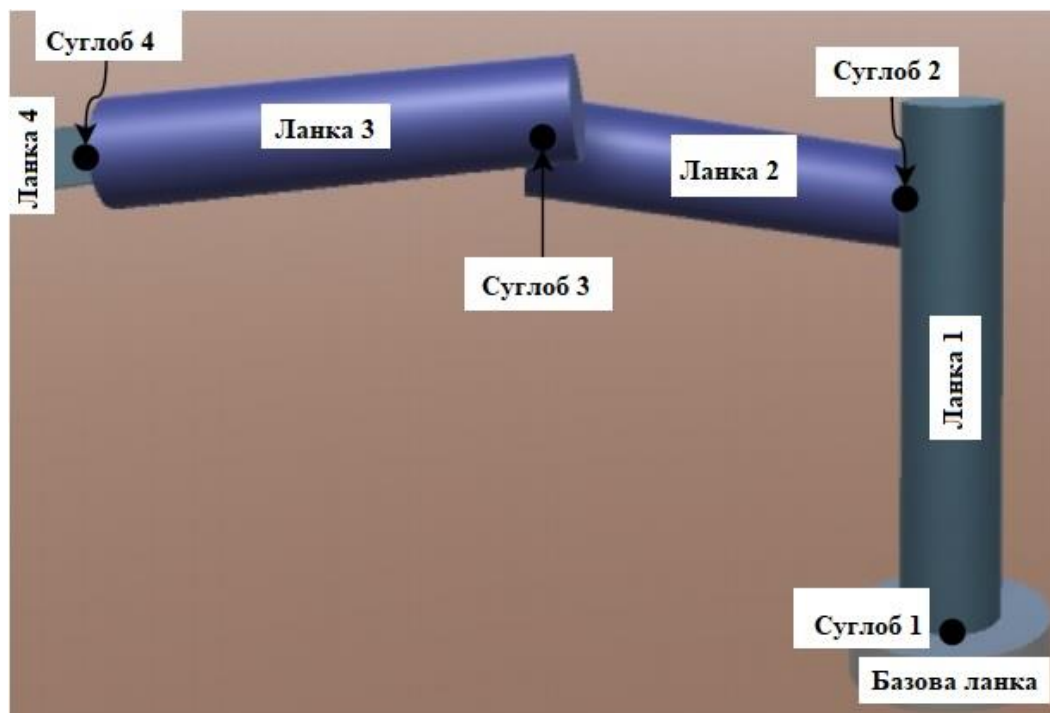


Рисунок 1.1 - Приклад роботизованої руки, яка складається із 4 суглобів та 4 ланок [6]

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Існують різні типи з'єднань, найпоширенішими є поворотні та призматичні. Поворотні з'єднання з'єднують дві ланки та обертаються навколо фіксованої осі, тоді як призматичні з'єднання, також відомі як ковзні з'єднання, забезпечують лінійний рух між ланками.

Роботизована рука має два окремих зв'язки, які з'єднані з іншими пристроями. Базова ланка - це нижня частина роботизованої руки, яка з'єднує робота з основою. Верхньою ланкою роботизованої руки є наконечник, а її механічний інтерфейс називається фланцем робота.

Механічний інтерфейс фланця робота стандартизовано за стандартом ISO 9409-1 [7], який використовується під час прикріплення пристрою кінцевого з'єднання або інших пристроїв до маніпулятора робота.

Роботизована рука зазвичай постачається з контролером і підвіскою для навчання, що дозволяє програмувати робота. Корисне навантаження роботизованої руки описує вагу, яку може нести рука, яка використовується в технологічних операціях вибору та розміщення.

У виробничих процесах використовуються як промислові, так і колаборативні роботизовані руки. Промислові роботи призначені для того, щоб повністю замінити робітників, а також можуть виконувати важкі виробничі завдання, тоді як колаборативні роботи, також звані коботами, розроблені для безпечної роботи разом із людьми або поблизу них.

Кінцевий ефектор механічно під'єднаний до роботизованої руки через пристрій кінцевого з'єднання та обмінюється даними через систему передачі даних. Пристрої кінцевого з'єднання розроблені, щоб полегшити процес зміни кінцевих ефektorів; наприклад, один із пристроїв кінцевого з'єднання, доступних на ринку, дозволяє змінювати кінцевий елемент без необхідності будь-чого закручувати.

Це має вирішальне значення в програмах, де роботизованій руці потрібно використовувати кілька кінцевих ефекторів для виконання різних частин завдання.

Існують різні категорії кінцевих ефекторів та їх підкатегорії. Захоплювачі можна використовувати для переміщення об'єктів із початкового положення в кінцеве. Залежно від розміру та текстури об'єкта можна вибрати певний тип захоплення.

Наприклад, для палетування твердих прямокутних предметів можна використовувати вакуумні захоплювачі, тоді як електричні захоплювачі можна використовувати для палетування об'єктів з більш м'яких матеріалів.

Викрутки можна використовувати для збирання або розбирання частин предмета. Вони вибираються на основі необхідного розміру гвинтів, швидкості та крутного моменту. Фланцеві адаптери – це прості механічні пристрої, які взаємодіють між пристроями кінцевого з'єднання та робототехнічною рукою з різними типами фланців ISO.

Залежно від вимог технологічної лінії та обраної роботизованої руки можна використовувати різні типи баз. Якщо рука повинна працювати на більшій території, ніж дозволяє її досяжність, було б доцільно встановити її на мобільного робота, щоб пересуватися по всій визначеній зоні.

Підсистеми, що поєднують роботизовані руки та мобільних роботів, називають мобільними маніпуляторами. Такі підсистеми можуть скоротити час інтеграції, оскільки два пристрої вже налаштовані, а інтерфейси програмування розроблені для керування обома роботами.

Стаціонарні бази існують і можуть використовуватися у випадках, коли роботизована рука може виконати завдання в межах своєї

досяжності. Такі бази можуть мати датчики безпеки, які реєструють, якщо людина знаходиться поблизу промислового робота, зупиняючи робота, доки не буде усунуто загрозу безпеці.

Деякі технологічні лінії для роботів є популярними, тому різні виробники розробили комплексні технологічні лінії, які можна легко розгорнути всього за кілька днів. З такими технологічними лініями важливо перевірити вимоги системи та порівняти їх зі специфікаціями необхідної технологічної лінії [8].

1.2 Особливості інтеграції та розгортання робототехнічних систем

Терміни придбання, інтеграція та розгортання робототехнічних систем не є універсально стандартизованими визначеннями, але зазвичай використовуються в галузі робототехніки та автоматизації.

Придбання визначається як процес проектування, налаштування та візуалізації пристроїв. Інтеграція визначається як процес візуалізації, моделювання та фізичної інтеграції пристроїв. Це передбачає фізичне підключення обладнання та перевірку функціональності системи в цілому.

Розгортання визначається як процес переміщення фізичної системи в її призначене середовище, наприклад, на виробничий завод, і перевірка роботи та безпеки системи, на додаток до забезпечення того, що вона оптимально використовується для виконання поставленого завдання.

Поточне обслуговування системи під час експлуатації також є частиною цього процесу [9]. Варто зазначити, що хоча процес

Європейські ініціативи, такі як проект RobMoSys, були визначені для створення методологій для розробки складних моделей і програмного забезпечення для систем роботів. Ідея цього проекту полягає в досягненні сумісності між зацікавленими сторонами та додатками в екосистемі програмного забезпечення для робототехніки, що демонструє потребу в дослідженнях і розробках в рамках інтеграції робототехнічних систем.

Основна увага RobMoSys була зосереджена на покращенні загального процесу інтеграції програмного забезпечення серед зацікавлених сторін у сфері сервісних роботів. Одним із цікавих результатів RobMoSys був підхід до розробки програмного забезпечення на основі моделі та предметно-спеціальних мов для вирішення пов'язаних проблем [15].

Роботизовані системні інтегратори проектують повну систему для автоматизації процесу, враховуючи вимоги замовника, завдання та доступні пристрої для побудови роботизованої системи. Роботизовані системні інтегратори дуже покладаються на свій попередній досвід автоматизації подібних завдань за допомогою конкретних роботів.

Більшість інтеграторів робототехнічних систем займаються придбанням, інтеграцією та частиною розгортання робототехнічних систем. Бувають випадки, коли етап експлуатації системи оплачується як додаткова вартість.

Ручне налаштування пристроїв у системі робота та визначення їх сумісності може зайняти час, додаючи до загальних витрат на інтеграцію. Розробка конфігуратора, який може автоматизувати цей процес, подібно до конфігуратора ПК, може допомогти клієнтам та інтеграторам легше визначити сумісність пристроїв під час налаштування робототехнічної системи.

Це також може призвести до збільшення повторного використання пристроїв, якщо їх сумісність можна легко визначити в інструменті налаштування. Якщо розробити конфігуратор, який містить усі знання домену про пристрої, новим інтеграторам буде простіше вийти на ринок, а також це скоротить час інтеграції робототехнічних систем.

Щоб зменшити час інтеграції та розгортання робототехнічних систем, конструкцію можна змодельовати та перевірити перед тим, як інвестувати в апаратне забезпечення. Симуляцію можна використовувати на кількох етапах інтеграції та розгортання.

Його можна використовувати на етапі проектування, щоб експериментувати з різними пристроями, або перед розгортанням для перевірки системи (як віртуальне введення в експлуатацію), або в контексті цифрового двійника, де процеси можна моделювати та порівнювати з даними фізичної системи для оптимізації процесу.

Знання в конфігураторі на основі обмежень можна формалізувати за допомогою мови обмежень об'єктів (МОО) [16], яка може визначати властивості системи або об'єкта за допомогою логічних виразів та інваріантів. МОО зазвичай використовується разом із діаграмами класів уніфікованої мови моделювання (УММ), оскільки це дозволяє включати додаткову інформацію про зв'язки між об'єктами.

Два типи МОО, які зазвичай використовуються, це інваріанти та імплікації. Інваріанти можна використовувати для визначення обмежень, які завжди мають виконуватися.

Конфігурація робототехнічних систем із використанням модульності, як визначено в ISO 8373 - це «розташування модулів для досягнення бажаної функціональності робота». Він передбачає створення робототехнічної системи сумісних пристроїв, які

відповідають вимогам програми та відповідають визначенню конфігурації [17], наданому раніше.

При розробці конфігуратора обмежена стандартизація інтерфейсів пристроїв вимагала б від експерта домену або визначення власних термінів для інтерфейсів, або витрачання величезних зусиль на детальний опис інтерфейсів.

Обмежена документація пристроїв означає, що інтеграторам у деяких випадках потрібно проводити емпіричні тести для визначення сумісності пристроїв. Після перевірки пристроїв знання про сумісність пристроїв залишаються в інтеграторі.

Через складність отримання знань у цій області багато інтеграторів використовують пристрої лише від обмеженої кількості виробників комплектного обладнання, з якими вони формують довгострокові партнерства, обмежуючи простір конфігурації для клієнтів, які бажають придбати роботизовані системи.

Однією з поточних проблем формалізації знань про конфігурацію роботизованої системи є те, що для цього може знадобитися виконання емпіричних тестів або співпраця з інтегратором робототехнічної системи.

Нещодавно з'явилися цифрові програми, які допомагають клієнтам придбати роботизовані системи. Прикладами таких є конструктори додатків від виробників робототехніки Universal Robots і ABB, де користувач може отримати допомогу у виборі відповідних роботів для певної програми та переглянути анімацію програми з вибраними пристроями від цього конкретного виробника. Конструктори додатків допомагають клієнтам краще зрозуміти потенціал автоматизації та отримати уявлення про типи пристроїв, які містять роботизована система.

Іншими зусиллями в придбанні та інтеграції є платформа D:PLOU і конфігуратор рішень Machine Tending від виробників кінцевого обладнання Onrobot і Robotiq відповідно. Платформу D:PLOU можна використовувати для створення, запуску, моніторингу та повторного розгортання додатків роботів.

Конфігуратор рішень Machine Tending Solution Configurator можна використовувати для налаштування додатків обслуговування машини шляхом введення вимог до програми. Зауважте, що всі ці додатки розроблено окремими виробниками комплектного обладнання, таким чином допомагаючи клієнтам налаштовувати лише власні пристрої.

Платформа vention.io є єдиною незалежною від виробника платформою, яка полегшує проектування та симуляцію повної роботизованої системи за допомогою 3D-візуалізацій перед замовленням і розгортанням системи.

Перевіряючи цю платформу, ми виявили, що сумісність і вимоги до пристроїв не враховувалися автоматично в процесі проектування, натомість перед покупкою була запропонована можливість отримати відгук від системного експерта.

Це означає, що якщо клієнт вирішить пропустити етап зворотного зв'язку, він може ризикнути придбати неповну або несумісну систему. Крім того, на платформі був доступний лише обмежений набір продуктів, наприклад, роботизовані руки від одного з провідних виробників, а роботи Кіка не підтримувалися.

Ці приклади є підмножиною промислових інструментів, розроблених для скорочення часу отримання робототехнічних систем, і таким чином ілюструють значний інтерес до цієї галузі.

Проблеми з документацією, а також приклади промислових інструментів і той факт, що конфігурація робототехнічної системи наразі

виконується вручну, все це мотивує роботу над створенням моделі предметної області для конфігурації роботосистеми, яка може подолати ці обмеження та потенційно зменшити витрати на придбання та інтеграцію.

1.3 Висновки до першого розділу

1. Найбільш часто використовуваним типом роботизованих рук у виробництві є серійні маніпулятори. Такі маніпулятори складаються з серії ланок, як правило, твердих тіл, з'єднаних разом і приводених в дію двигунами, що розміщені на з'єднаннях.

2. Роботизована рука має два окремих зв'язки, які з'єднані з іншими пристроями. Базова ланка - це нижня частина роботизованої руки, яка з'єднує роботу з основою. Верхньою ланкою роботизованої руки є наконечник, а її механічний інтерфейс називається фланцем робота.

3. Конфігурація робототехнічних систем із використанням модульності, як визначено в ISO 8373 - це «розташування модулів для досягнення бажаної функціональності робота». Він передбачає створення робототехнічної системи сумісних пристроїв, які відповідають вимогам програми та відповідають визначенню конфігурації, наданому раніше.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Математична модель робота-маніпулятора

У випадку роботів-маніпуляторів в першу чергу дивляться на їх розміри, технічні можливості, керуюче програмне забезпечення, підключену периферію та обладнання.

Рух робота-маніпулятора можна розділити на пряму та зворотну кінематику. Пряма кінематика описує, як рухається робот-маніпулятор відповідно до введених кутів. Для прямої кінематики робота-маніпулятора завжди є розв'язок.

Розв'язок для зворотної кінематики є більш складною проблемою, ніж пряма кінематика. Зв'язок між прямою кінематикою та зворотною кінематикою проілюстровано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Зв'язок між прямою кінематикою та зворотною кінематикою

Зворотна кінематика має розв'язуватися навпаки, ніж пряма кінематика. Відомо, що завжди можна знайти рішення для зворотної кінематики робота-маніпулятора. Існує лише кілька груп роботів-маніпуляторів (роботи-маніпулятори з ейлеровим зап'ястям), які характеризуються простим рішенням зворотної кінематики [8, 9].

Для робота-маніпулятора є три простори, які включають простір для суглобів, простір конфігурації та кадри простору завдань. Усі простори робота-маніпулятора використовуються для визначення поточного стану робота-маніпулятора, але з відмінностями.

Стан робота-маніпулятора – це точка (також відома як конфігурація або поза) у просторі. Найпростішим є Декартовий простір. У загальному випадку це тривимірний простір з розмірами XYZ. Стан центральної точки інструменту (ЦТІ) у декартовому просторі називається положенням.

Якщо ми розмістимо робота-маніпулятора в цьому просторі, кінцевий ефектор робота-маніпулятора матиме певне положення. Ми можемо спроектувати центральну точку інструменту на осі XYZ і отримати координати XYZ центральної точки інструменту.

Очевидно, ЦТІ також матиме орієнтацію, але якщо ми опишемо ЦТІ лише у 3 вимірах, інформація буде втрачена. Отже, для ефективної роботи з орієнтацією до декартового простору XYZ можна додати ще 3 виміри.

Таким чином отримуємо простір із 6 вимірами: 3 декартовими вимірами та 3 вимірами, що описують обертання навколо 3 декартових осей. Зазвичай цей простір є основою для визначення робочого простору робота або простору завдань робота.

Операційний простір - це в більшості випадків саме той простір, в якому "працює" робот. У деяких випадках операційний простір також називається простором завдань, у якому робот-маніпулятор виконує завдання.

У деяких інших випадках простір завдань не має нічого спільного з роботом-маніпулятором, а лише стосується завдання та визначається лише як розміри, необхідні для визначення завдання, які пізніше

перевіряються, чи відповідають вони робочому простору роботів-маніпуляторів чи ні.

Робочий простір, коли його визначено в операційному просторі, описує всі точки, доступні для робота-маніпулятора, враховуючи лише внутрішні обмеження (наприклад, обмеження суглобів і самозіткнення), але не враховуючи жодних перешкод. Отже, якщо простір завдань вписується в робочий простір, який є підмножиною операційного простору, тоді можна говорити про правильну роботу робота-маніпулятора.

Навіть якщо робот-маніпулятор має мало ступенів свободи, його можна описати за допомогою 6 вимірів у робочому просторі (хоча в більшості випадків має сенс узгодити кількість ступенів свободи робота-маніпулятора та не враховувати деякі виміри в 6D просторі завдань, наприклад, які є постійним і дорівнюють 0 або яким не можна керувати).

Не всі 6 вимірів можна контролювати незалежно для будь-якої конструкції робота-маніпулятора, наприклад для робота-маніпулятора SCARA ви можете контролювати 4 виміри XYZ і обертання навколо Z. Інші координати (обертання навколо X та Y є постійними і дорівнюють 0). Стан робота-маніпулятора в робочому просторі також відомий як поза робота (положення та орієнтація разом).

Якщо ми візьмемо координати операційного простору ЦТІ, ми можемо вирішити зворотну кінематичну задачу та отримати координати простору з'єднання. Розміри суглобового простору дорівнюють числу ступенів свободи робота, а лише вказівка координат простору завдання не дає однозначного опису конфігурації суглобового простору. Більш ніж 1 точка в спільному просторі може мати однакову робочу конфігурацію простору.

Конфігураційний простір є підмножиною спільного простору. Це можна уявити як обмеження суглобового простору. Якщо ми уявимо будь-яку довільну точку в суглобовому просторі, може статися, що робот-маніпулятор не зможе припустити, що дана точка суглобового простору (або конфігурація суглоба) може бути пов'язана з фізичними обмеженнями на суглоби (наприклад, для лінійної осі X точка буде за межами межі суглобів).

Іншим обмеженням може бути те, що робот-маніпулятор зіткнеться з перешкодою, приймаючи конфігурацію суглобового простору. Простір конфігурацій відноситься до підмножини дійсних конфігурацій об'єднань у просторі об'єднань. Якщо ми знехтуємо зовнішніми обмеженнями (наприклад, перешкодами) і врахуємо лише внутрішні обмеження (наприклад, межі суглобів і самозіткнення), ми отримаємо робочий простір, визначений у спільному просторі.

Конфігураційний простір у більшості випадків визначається у спільному просторі, але більш відповідне визначення полягає в тому, що описує робота-маніпулятора як одну точку в просторі, і ця точка може вільно переміщатися в конфігураційному просторі без будь-яких інших урахувань (наприклад, перешкод).

Таким чином, координати ЦТІ є релевантними, а геометрія робота-маніпулятора «додається» до перешкод для пошуку меж конфігураційного простору. Теоретично це також можна застосувати в оперативному просторі. Немає математичної необхідності прив'язувати простір конфігурації до спільного простору, у більшості випадків це робиться саме так.

Операційний простір подібний до декартового простору (з доданими оберतालними вимірами). Простір завдань може бути таким

же, як операційний простір, або він може бути похідним виключно від завдання.

Простір суглобів - це простір координат суглобів. Простір конфігурацій - це спільний простір без неприпустимих поз, але ніщо не заважає йому бути таким самим у робочому просторі.

Робочий простір у робочому просторі - це всі точки, яких може досягти робот-маніпулятор, робочий простір у спільному просторі - це всі точки, яких може досягти робот-маніпулятор.

Якщо в робочому просторі немає перешкод, робочий простір спільного простору такий самий, як простір конфігурацій, якщо є перешкоди, простір конфігурації є підмножиною робочого простору спільного простору.

Конфігураційний простір здебільшого визначається у спільному просторі, робоча область переважно визначається в спільному просторі. Спосіб перетворення форми з суглобового простору в робочий простір є проблемою прямої кінематики, а для переходу із робочого простору в суглобовий простір потрібна зворотна кінематична задача.

На кафедрі автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки Хмельницького національного університету в лабораторії 4-319 розміщено робот-маніпулятор Dobot Magician, який зображено на рисунку 2.2.

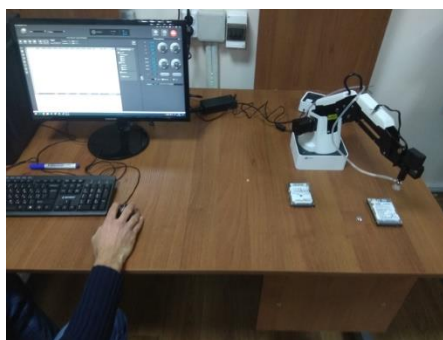


Рисунок 2.2 - Робот-маніпулятор Dobot Magician (Добот Чарівник)

Робот-маніпулятор Dobot Magician - це комерційний робот-маніпулятор із 3 ступенями свободи (СС), який має численні привабливі функції завдяки гібридній послідовній і паралельній конфігурації.

Однією з його головних характеристик робота-маніпулятора Dobot Magician є точність, завдяки тому, що він використовує зв'язок із чотирма балками для активації обертання кожної ланки.

Крім того, робот-маніпулятор Dobot Magician використовує механізм паралелограма, щоб гарантувати постійну орієнтацію кінцевого ефектора.

Тривимірна модель робота-маніпулятора Dobot Magician представлена на рисунку 2.3. Як видно, шарніри J1 та J2 (q_1 і q_2) працюють в одному напрямку, отже, спрацьовування цих з'єднань і їхній вплив на кінематику робота можуть бути проаналізовані за допомогою плоскої моделі.

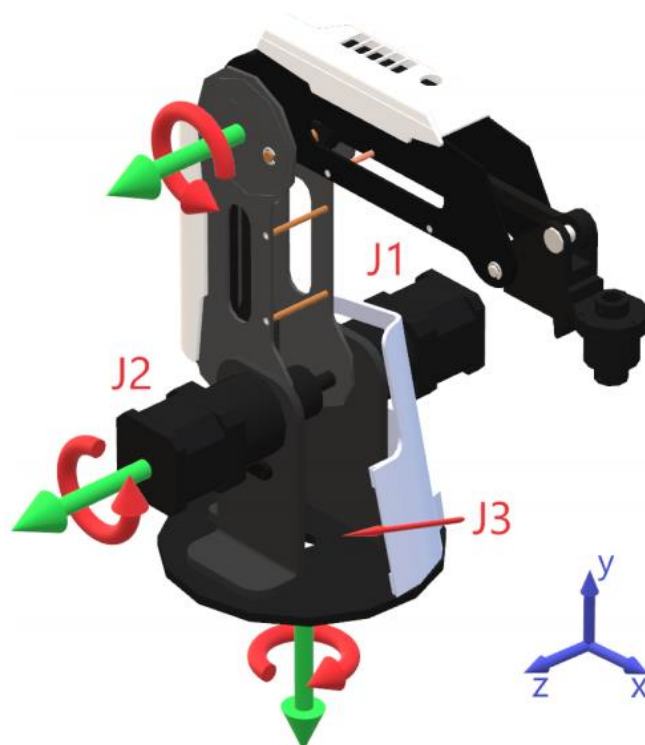


Рисунок 2.3 – Тривимірна модель робота-маніпулятора Dobot Magician

З іншого боку, шарнір J3 обертає робота по осі у, що змінює орієнтацію робота-маніпулятора. Оскільки це обертання є перпендикулярним до інших активованих шарнірів, це с обертання не враховується в процесі аналізу.

На рисунку 2.4 у розрізі показано механізм всередині корпусу робота-маніпулятора Dobot Magician.

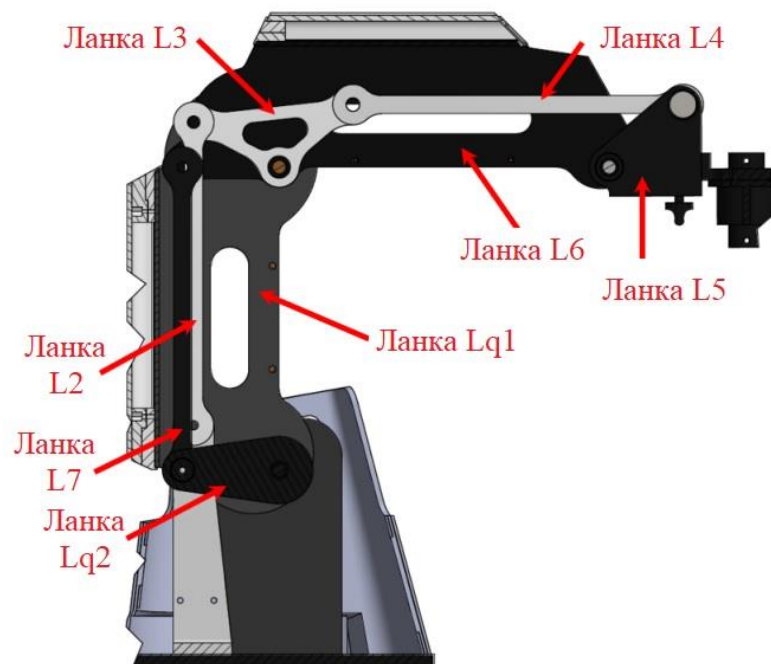


Рисунок 2.4 – Механізм всередині у розрізі корпусу робота-маніпулятора Dobot Magician

Для аналізу механізму робота-маніпулятора Dobot Magician розглянемо кінематичну діаграму, яка моделює всі ланки та зображена на рисунку 2.5.

Враховуючи, що робот-маніпулятор Dobot Magician має паралельну конфігурацію, приведення в дію другого шарніра здійснюється за допомогою механізму, який складається з ланок: Lq2, L7 і L6. Ці ланки передають рух від основи до другого шарніра.

Кінцевому ефектору відповідає точка P. Орієнтація цієї ланки безпосередньо не активується, а виконана у вигляді механізму Ватта, який складається для ланок L2, L3, L4 і L5.

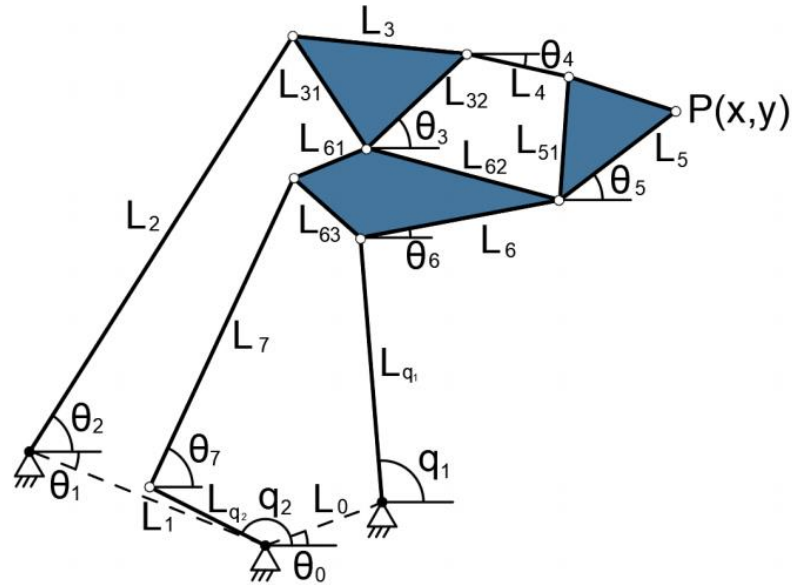


Рисунок 2.5 – Кінематична діаграма робота-маніпулятора Dobot Magician

Для отримання прямої кінематики робота-маніпулятора Dobot Magician використаємо метод замкнутого контуру [23]. Цей метод вимагає аналізу замкнутого контуру для отримання рівнянь положення.

Необхідно використовувати три рівняння замкнутого контуру, щоб отримати положення робота-маніпулятора Dobot Magician. На рисунку 2.6 зображено три замкнутих контури робота-маніпулятора Dobot Magician.

Рівняння для першого циклу описується виразом (2.1):

$$\vec{L}_{q_2} + \vec{L}_7 + \vec{L}_{63} = \vec{L}_0 + \vec{L}_{q_1}. \quad (2.1)$$

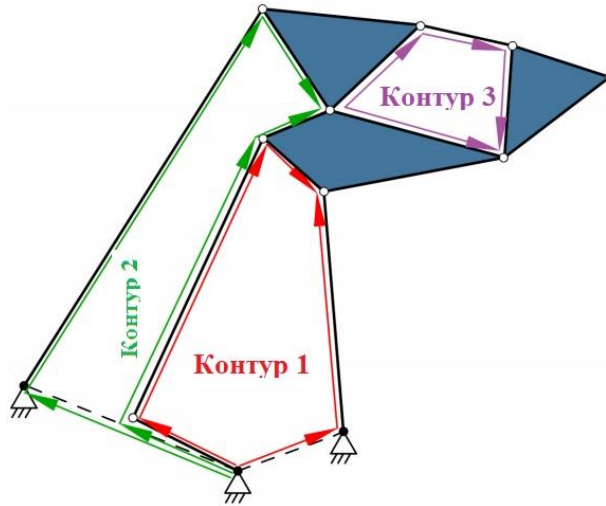


Рисунок 2.6 – Три замкнутих контури робота-маніпулятора
Dobot Magician

Перегрупуємо вираз (2.1) для ланки L6 і виразимо його у векторній формі:

$$L_{63} \begin{bmatrix} \cos\theta_6 + \beta_3 \\ \sin\theta_6 + \beta_3 \end{bmatrix} = L_0 \begin{bmatrix} \cos\theta_0 \\ \sin\theta_0 \end{bmatrix} + L_{q1} \begin{bmatrix} \cos q_1 \\ \sin q_1 \end{bmatrix} - L_{q2} \begin{bmatrix} \cos q_2 \\ \sin q_2 \end{bmatrix} - L_7 \begin{bmatrix} \cos\theta_7 \\ \sin\theta_7 \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Додамо квадрат сторони x і квадрат сторони y, тоді вираз, що відповідає θ_6 , спрощується. Таким чином, отримаємо вираз, який залежить від θ_7 , θ_{q1} , θ_{q2} і θ_0 . Однак, оскільки q_1 і q_2 є елементами системи, а θ_0 є фіксованим кутом, єдиною змінною, яка представляє інтерес, є кут θ_7 . Отже, результуючий вираз виражається через кут θ_7 у відповідності до виразу (2.3):

$$A_1 \cos\theta_7 + A_2 \sin\theta_7 + A_3 = 0, \quad (2.3)$$

де коефіцієнти A_i є параметрами, які залежать від розмірів робота-маніпулятора Dobot Magician та відомих кутів.

2.2 Імітаційна модель робота-маніпулятора

На рисунку 2.7 зображено 3D імітаційну модель робота-маніпулятора Dobot Magician

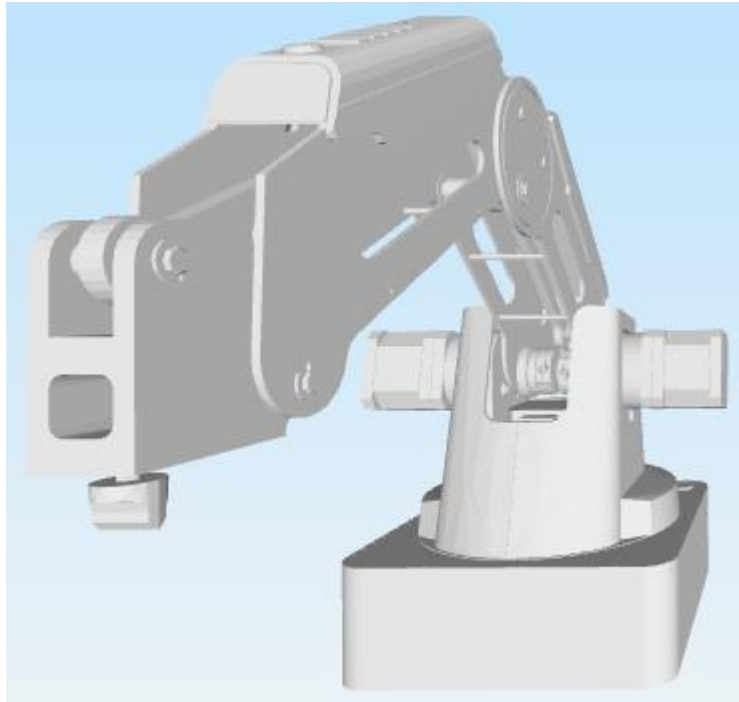


Рисунок 2.7 – 3D імітаційна модель робота-маніпулятора
Dobot Magician

3D імітаційна модель робота-маніпулятора Dobot Magician, яка зображена на рисунку 2.7, була отримана з порталу підтримки клієнтів компанії виробника.

Моделювання робота-маніпулятора Dobot Magician будемо виконувати за допомогою операційної системи роботів (ОСР). ОСР - це основа для написання програмного забезпечення для роботів. ОСР - це набір інструментів, бібліотек і угод, спрямованих на спрощення завдання створення складної та надійної поведінки роботів на різноманітних роботизованих платформах.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ

Арк.
27

ОСР складаються з численних невеликих комп'ютерних програм, які з'єднуються одна з одною та постійно обмінюються повідомленнями. Ці повідомлення передаються безпосередньо від однієї програми до іншої; центральної служби маршрутизації немає. Хоча це робить базову систему складнішою, результатом є система, яка краще масштабується зі збільшенням обсягу даних.

Створення 3D-моделі робота-маніпулятора Dobot Magician в ОСР здійснюється за допомогою використання URDF фалу (уніфікований формат опису робота), який є форматом XML, що дозволяє описувати фізичні властивості робота.

Для візуалізації робота-маніпулятора Dobot Magician будемо використовувати інструмент ОСР Rviz. Rviz дозволяє в реальному часі візуалізувати на 3D-сцені всі компоненти робототехнічної системи - системи координат, частини, що рухаються, значення вимірювальних сигналів з датчиків, зображення з камер.

Створення 3D-моделі робота-маніпулятора Dobot Magician почнемо із основи, яка розміщується на робочій поверхні і зображена на рисунку 2.8.

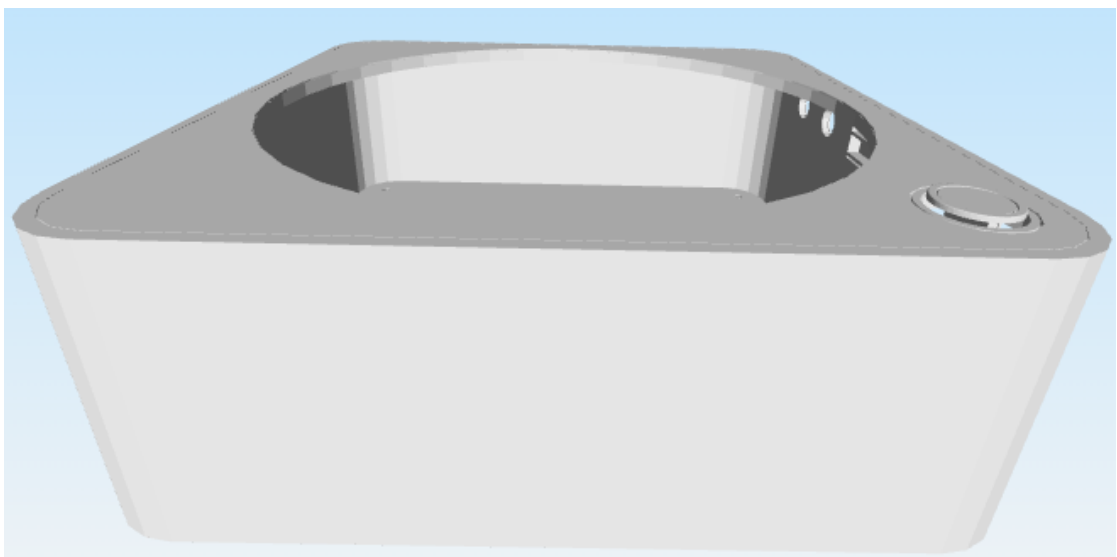


Рисунок 2.8 – 3D модель основи робота-маніпулятора Dobot Magician

Перша ланка робота-маніпулятора Dobot Magician після основи – це тулуб, який повертає робота з боку в бік і зображений на рисунку 2.9.

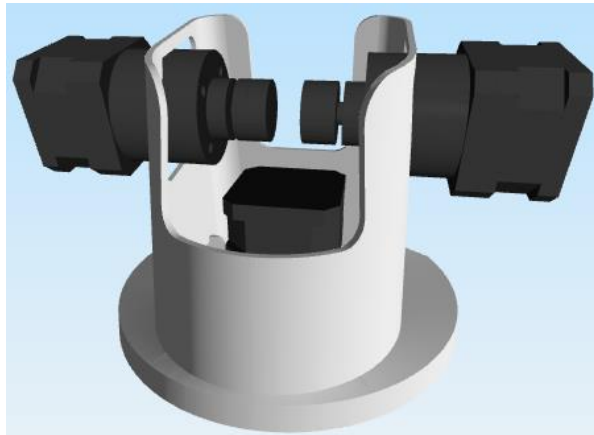


Рисунок 2.9 – 3D модель першої ланки робота-маніпулятора Dobot Magician

Друга ланка робота-маніпулятора Dobot Magician після тулуба – це плече, яке повертає руку до верху та до низу і зображене на рисунку 2.10.

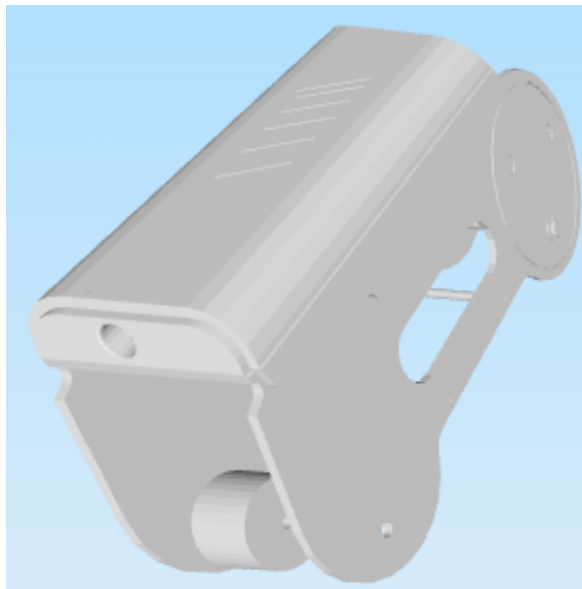


Рисунок 2.10 – 3D модель другої ланки робота-маніпулятора Dobot Magician

Третя ланка робота-маніпулятора Dobot Magician після плеча – це передпліччя, яке з'єднує плече із наступною ланкою – кистю і зображене на рисунку 2.11.

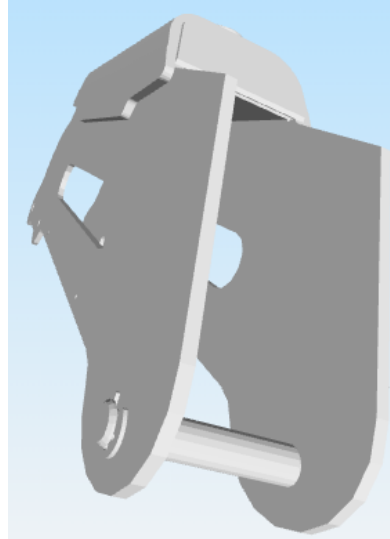


Рисунок 2.11 – 3D модель третьої ланки робота-маніпулятора Dobot Magician

Четверта ланка робота-маніпулятора Dobot Magician після передпліччя – це кисть, яка з'єднує передпліччя із кінцевим ефектором і зображена на рисунку 2.12.

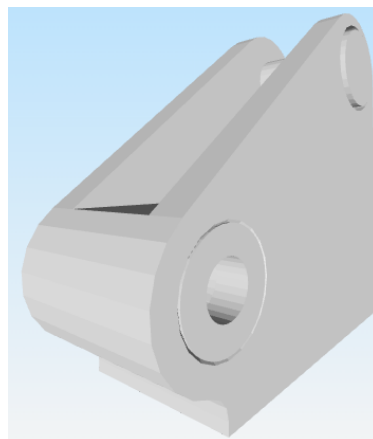


Рисунок 2.12 – 3D модель четвертої ланки робота-маніпулятора Dobot Magician

Для побудови 3D моделі робота-маніпулятора Dobot Magician будемо використовувати основа та чотири ланки: тулуб, плече, передпліччя та кисть, які з'єднуються між собою чотирма суглобами: тазостегновим, плечовим, ліктьовим та зап'ястковим.

Для побудови 3D моделі робота-маніпулятора Dobot Magician будемо використовувати уніфікований формат опису робота (URDF) - це формат файлу XML, який використовується в ОСР для опису всіх елементів робота.

URDF файл робота-маніпулятора Dobot Magician розпочинається першим тегом, який задає ім'я робота.

```
<robot name="magician">
```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician визначають кольори, які використовуються для 3D моделі робота-маніпулятора Dobot Magician.

```
<material name="Black">  
<color rgba="0 0 0 1"/>  
</material>  
<material name="White">  
<color rgba="1 1 1 1"/>  
</material>  
<material name="Grey">  
<color rgba="0.9 0.9 0.9 1"/>  
</material>
```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician описують основу, яка використовується для 3D моделі робота-маніпулятора Dobot Magician і розміщена на робочій поверхні, де встановлений робот-маніпулятор Dobot Magician.

```
<link name="base_link">  
<visual>  
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
```

```

<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/base_link.STL"/>
</geometry>
<material name="White"/>
</visual>
<collision>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/base_link.STL"/>
</geometry>
</collision>
</link>

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician визначають тазостегновий суглоб, який з'єднує основу та тулуб.

```

<joint name="joint_1" type="revolute">
<origin xyz="0 0 0.024" rpy="0 0 0"/>
<parent link="base_link"/>
<child link="link_1"/>
<axis xyz="0 0 1"/>
<limit effort="150.0" lower="-3.14159265" upper="3.14159265"
velocity="3.15"/>
</joint>

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician описують першу ланку – тулуб.

```

<link name="link_1">
<visual>|
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/link_1.dae"/>

```

```

</geometry>
</visual>
<collision>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/link_1.STL"/>
</geometry>
</collision>
</link>

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician визначають плечовий суглоб, який з'єднує тулуб та плече.

```

<joint name="joint_2" type="revolute">
<origin xyz="-0.01175 0 0.114" rpy="1.570796325 0 -1.570796325"/>
<parent link="link_1"/>
<child link="link_2"/>
<axis xyz="0 0 1"/>
<limit effort="150.0" lower="0" upper="1.570796325"
velocity="3.15"/>
</joint>

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician описують другу ланку – плече.

```

<link name="link_2">
<visual>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/link_2.dae"/>
</geometry>
</visual>
<collision>
<origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>

```

```

<geometry>
<mesh filename="package://magician/meshes/link_2.STL"/>
</geometry>
</collision>
</link>|

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician визначають ліктьовий суглоб, який з'єднує плече та передпліччя.

```

<joint name="joint_3" type="revolute">
  <origin xyz="0.00475 0.00001 0.114" rpy="1.570796325 0
1.570796325"/>
  <parent link="link_1"/>
  <child link="link_3"/>
  <axis xyz="0 0 1"/>
  <limit effort="150.0" lower="-3.14159265" upper="3.14159265"
velocity="3.15"/>
</joint>|

```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician описують третю ланку – передпліччя.

```

<link name="link_3">
  <visual>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <mesh filename="package://magician/meshes/link_3.STL"/>
    </geometry>
  </visual>
  <collision>|
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <mesh filename="package://magician/meshes/link_3.STL"/>
    </geometry>
  </collision>
</link>

```

```
</geometry>
</collision>
</link>
```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician визначають зап'ястковий суглоб, який з'єднує передпліччя та зап'ястя.

```
<joint name="joint_4" type="revolute">
  <origin xyz="0.0013 0.042980 0.00275" rpy="0 -1.570796325
0"/>
  <parent link="link_3"/>
  <child link="link_4"/>
  <axis xyz="1 0 0"/>
  <limit effort="150.0" lower="-3.14159265" upper="3.14159265"
velocity="3.15"/>
</joint>
```

Наступні теги у URDF файлі робота-маніпулятора Dobot Magician описують четверту ланку – зап'ястя.

```
<link name="link_4">
  <visual>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <mesh filename="package://magician/meshes/link_4.STL"/>
    </geometry>
  </visual>
  <collision>
    <origin xyz="0 0 0" rpy="0 0 0"/>
    <geometry>
      <mesh filename="package://magician/meshes/link_4.STL"/>
    </geometry>
  </collision>
</link>
```

2.4 Висновки до другого розділу

1. Рух робота-маніпулятора можна розділити на пряму та зворотну кінематику. Пряма кінематика описує, як рухається робот-маніпулятор відповідно до введених кутів. Зворотна кінематика має розв'язуватися навпаки, ніж пряма кінематика.

2. Для робота-маніпулятора є три простори, які включають простір для суглобів, простір конфігурації та кадри простору завдань. Усі простори робота-маніпулятора використовуються для визначення поточного стану робота-маніпулятора, але з відмінностями.

3. Робот-маніпулятор Dobot Magician - це комерційний робот-маніпулятор із 3 ступенями свободи (СС), який має численні привабливі функції завдяки гібридній послідовній і паралельній конфігурації.

4. Однією з його головних характеристик робота-маніпулятора Dobot Magician є точність, завдяки тому, що він використовує зв'язок із чотирма балками для активації обертання кожної ланки.

5. Моделювання робота-маніпулятора Dobot Magician виконано за допомогою операційної системи роботів (ОСР). Створення 3D-моделі робота-маніпулятора Dobot Magician в ОСР здійснено за допомогою URDF фалу (уніфікований формат опису робота), який є форматом XML, що дозволяє описувати фізичні властивості робота.

6. Для візуалізації робота-маніпулятора Dobot Magician використано інструмент ОСР Rviz. Rviz дозволяє в реальному часі візуалізувати на 3D-сцені всі компоненти робототехнічної системи - системи координат, частини, що рухаються, значення вимірювальних сигналів з датчиків, зображення з камер.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

3.1 Особливості програмного забезпечення Dobot Studio

Робот-маніпулятор Dobot Magician - це комерційно доступний, легкий, багатофункціональний настільний робот-маніпулятором, який є моделлю промислового робота-маніпулятора із 3 ступенями свободи. Фотографія робота-маніпулятора Dobot Magician зображена на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 - . Фотографія робота-маніпулятора Dobot Magician

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КРБАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ

Арк.

37

апаратної) на різних мовах програмування для додаткової розробки Dobot Magician.

До НЗР Dobot Magician відносяться Dobotdll.dll і С# НЗР, які використовуються для отримання доступу до даних датчиків і виконання переміщення від точки до точки кінцевого ефектора Dobot Magician.

DobotDll.dll - це підтримуваний файл DLL, необхідний для отримання доступу до MCU материнської плати Dobot Magician. Повною формою DLL є динамічна бібліотека, яка містить набір даних і код для виконання певних операцій в операційній системі Windows. Попередньо скомпільований вихідний код файлу DLL вивчається інтуїтивно, щоб зрозуміти принцип роботи Dobot Magician.

Інтерфейс прикладного програмування (ІПП) у комп'ютерному програмуванні - це набір протоколів зв'язку, визначень підпрограм та інструментів для розробки програмного забезпечення.

Контролер Dobot Magician підтримує два типи команд: негайна команда та команда черги. У розробці програмного забезпечення Dobot Magician С# обидві команди реалізуються. Негайна команда виконується контролером Dobot Magician відразу після отримання команди незалежно від того, обробляються інші команди чи ні. З іншого боку, команди в черзі виконуються контролером Dobot Magician, зберігаючи послідовність отримання команди.

Протокол зв'язку Dobot Magician використовується для побудови зв'язку з Dobot Magician. Зв'язок може бути встановлений через послідовний порт USB, послідовний порт рівня TTL, Wi-Fi (UDP), де фізичний рівень отримує необроблені дані довжиною вісім бітів для визначення початку та кінця даних, а також для перевірки точності даних. Протокол зв'язку - це комбінація заголовка пакета, завантаження пакета та контрольної суми для забезпечення правильного зв'язку.

Для програми керування роботом застосовуються два робочі модулі Dobot Magician: захват та повітряна присоска. Захват встановлюється шестигранним ключем на 2,5 мм. Після встановлення сигнальна лінія підключається до GP3, який є клемою передпліччя.

Блок повітряного насоса пневматично керує присоскою та захоплювачем. Його встановлюють шляхом підключення повітряної труби до обладнання та встановлення сигнальних і керуючих ліній до GP1 і SW1 на інтерфейсі введення/виведення на задній частині Dobot Magician.

3.2 Розробка програми операції «Вибір і розміщення»

Робот-маніпулятор Dobot Magician чудово підходить для виконання операцій вибору та розміщення, наприклад розміщення невеликих електронних компонентів на друкованих платах, а також невеликих предметів на піддонах. Операція «Вибір і розміщення» використовує 5 позицій, які зображені на рисунку 3.3.

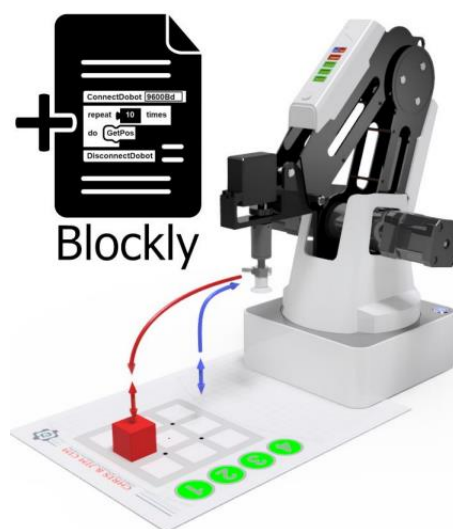


Рисунок 3.3 - Виконання базової операція «Вибір і розміщення»

1. Початкова позиція - дім (англійською мовою home) або безпечне місце.
2. Позиція над об'єктом.
3. Позиція на об'єкті.
4. Позиція над місцем розміщення.
5. Позиція місця розміщення.

1. Для виконання розробки програми виконання базової операція «Вибір і розміщення» відкриємо програмне забезпечення Dobot Studio.

2. Відкриємо Blockly у програмному забезпеченні Dobot Studio (рисунок 3.4).

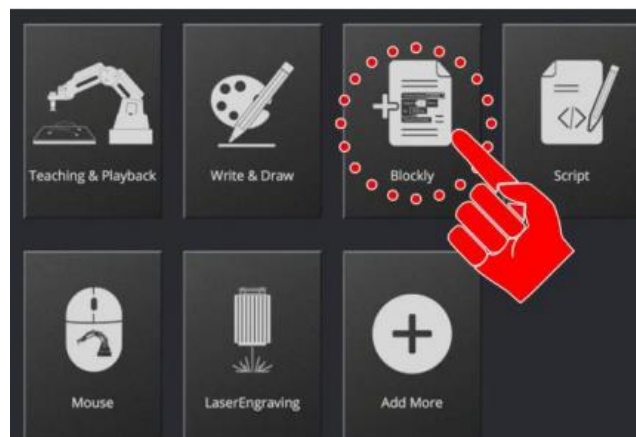


Рисунок 3.4 - Blockly у програмному забезпеченні Dobot Studio

На рисунку 3.5 показано головне меню Blockly у DobotStudio. Зліва знаходяться категорії та інструменти, за якими відсортовано кожен блок коду. Праворуч знаходяться елементи керування для масштабування програми під час її розробки, а також кошик для будь-яких елементів коду, які ви хочете видалити.

Колесо прокрутки на миші також можна використовувати для збільшення та зменшення масштабу програми. Для панорамування вгору

та вниз або вліво та вправо ви можете використовувати показані смуги прокрутки або клацнути та перетягнути порожнє місце в програмі.

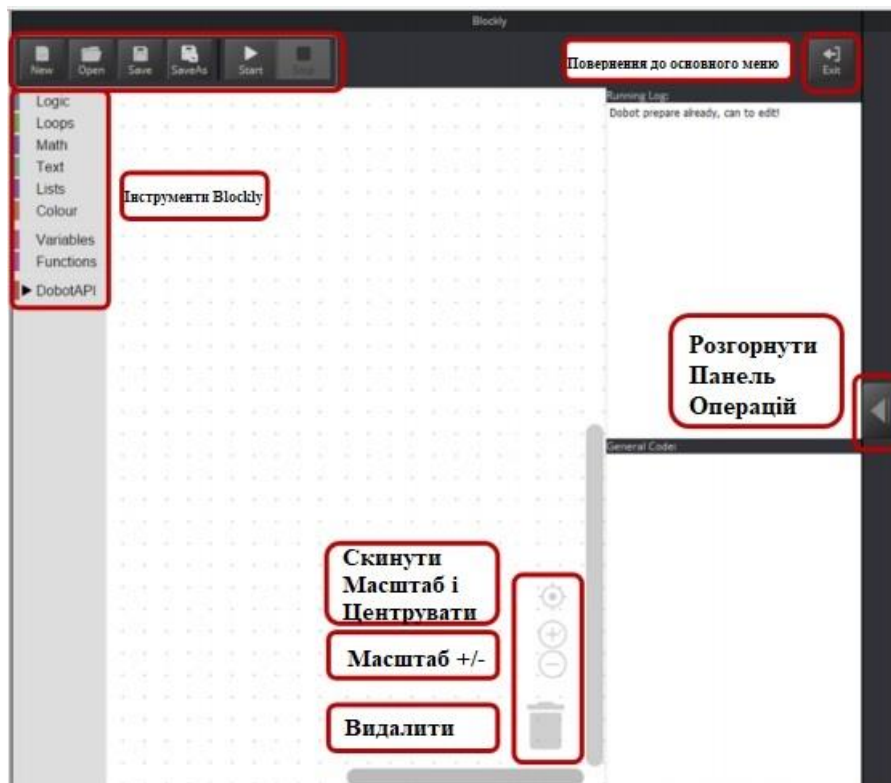


Рисунок 3.5 - Головне меню Blockly у DobotStudio

Будемо використовувати розділи Dobot API Motion, щоб створити просту версію програми «Вибір і розміщення» у відповідності до рисунку 3.6.

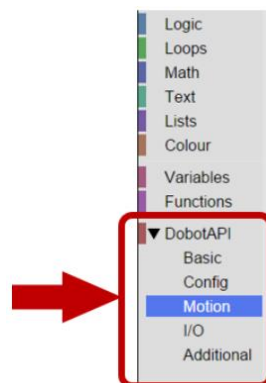


Рисунок 3.6 - Dobot API Motion

У цьому розділі є блоки коду, які дозволяють переміщати Dobot Magician від самої руки до маніпулятора. Для цієї програми нам знадобляться блоки **MoveTo**, **JumpTo** і **SuctionCup[ON]** у відповідності до рисунку 3.7.

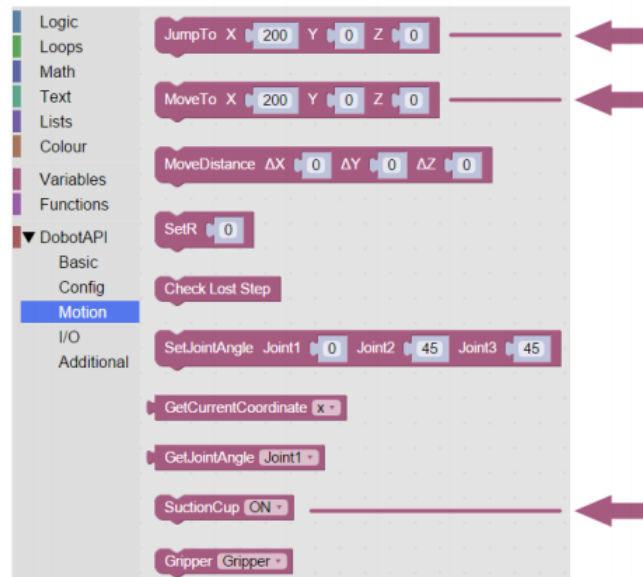


Рисунок 3.7 - Блоки **MoveTo**, **JumpTo** і **SuctionCup[ON]**

3. Першим кроком у Blockly у програмі «Вибір і розміщення» буде визначення координат X, Y та Z для кожного кроку. Розгорніть панель керування у відповідності до рисунку 3.8.

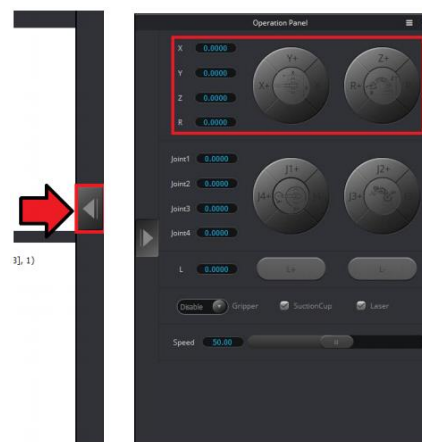


Рисунок 3.8 - Панель керування Dobot Magician

Використаємо елементи керування для руху Dobot Magician по координатам X, Y та Z, щоб знайти координати для кожної позиції у відповідності до рисунку 3.9.



Рисунок 3.9 - Координати для кожної позиції Dobot Magician

Можна використовувати кнопку блокування, щоб вручну знайти позиції. Можна скористатися кнопкою блокування, а потім переглянути координати у цьому вікні, щоб побачити значення XYZ точок.

Перенесемо розташування позицій Dobot Magician в блоки MoveTo у відповідності до рисунку 3.10.

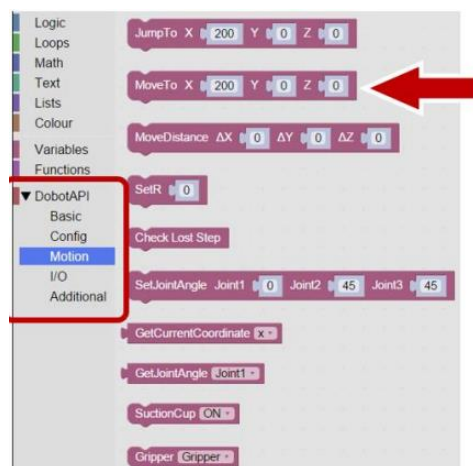


Рисунок 3.10 – Фрагмент програми «Вибір і розміщення» для Dobot Magician

4. Перетягнемо блок MoveTo з DobotAPI/Motion Tool Box у полі програмування.

Цей перший блок буде початковою позицією або початком програми. Для цього кроку ми хочемо, щоб робот завжди переходив у безпечне або скинуте положення, перш ніж продовжувати роботу з програмою.

Цю координату або точку буде названо домашньою, і це не обов'язково означає положення, у якому перебуває робот, коли натиснуто кнопку додому. Початкове положення має бути над середовищем, у якому працює робот, і на безпечній відстані від будь-яких об'єктів.

5. Після того, як координати для початкової позиції були записані в команді MoveTo, клацнемо правою кнопкою миші на команді та виберіть Додати коментар у відповідності до рисунку 3.11.

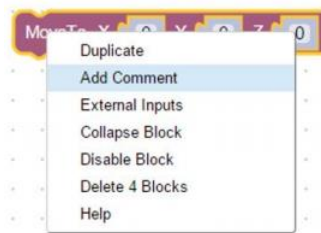


Рисунок 3.11 - Додавання коментаря до команди

6. Клацнемо на знак питання, що з'явиться. Це дозволить назвати позицію у відповідності до рисунку 3.12.

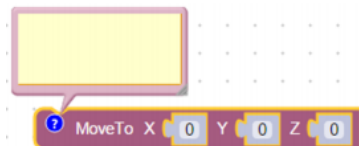


Рисунок 3.12 - Додавання назви позиції

Текстове поле, що з'являється, перемістимо та змінимо розмір. Повторне натискання знака питання згорне вікно виклику у відповідності до рисунку 3.13.

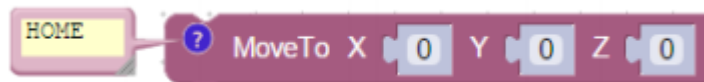


Рисунок 3.13 - Назва початкової позиції

7. Повторимо процес для решти кроків у програмі. Наразі проігноруємо кроки 4 і 8 (увімкнення та вимкнення вакууму) у відповідності до рисунку 3.14.

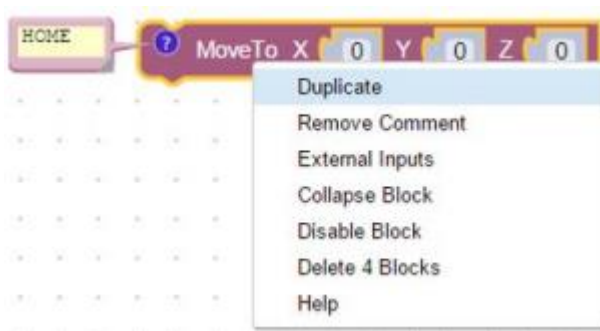


Рисунок 3.14 - Повторення процесу для решти кроків у програмі

Клацнемо правою кнопкою миші на кроці та вибрати Дублювати, щоб створити копію кроку. Це пришвидшує процес для кроків, які мають подібні координати у відповідності до рисунку 3.15.

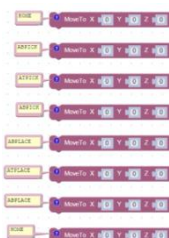


Рисунок 3.15 - Дублювання процесу правою кнопкою миші

8. Призначимо інструмент присоску для кінця маніпулятора у відповідності до рисунку 3.16. Перетягнемо ChooseEndTools із панелі інструментів DobotAPI/Config у поле програмування.

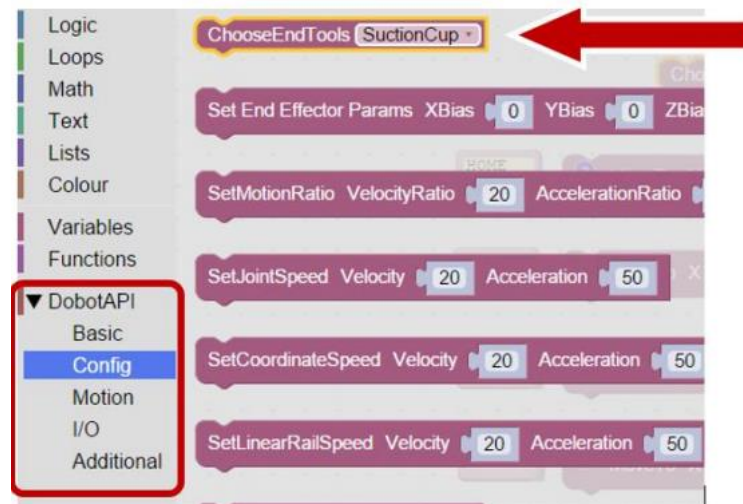


Рисунок 3.16 - Призначити інструмент присоску для кінця маніпулятора

9. Перетягнемо ChooseEndTools у першу початкову позицію, доки посилання на обох рядках програмування не стануть помаранчевими та відпустить блок у відповідності до рисунку 3.17.

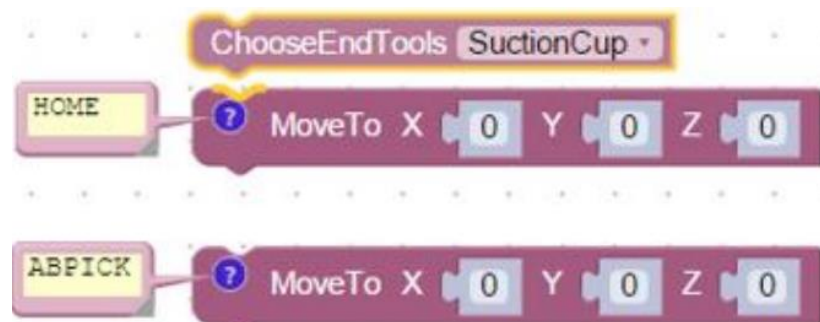


Рисунок 3.17 - Призначити інструмент присоску для кінця маніпулятора

Присоска вже має бути вибраною. Якщо ні, виберемо її зі спадного меню у відповідності до рисунку 3.18.

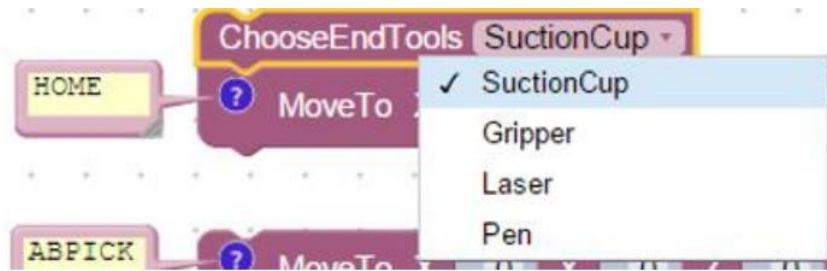


Рисунок 3.18 – Вибір присоски для маніпулятора

10. Зв'яжемо наступні рядки коду безпосередньо перед кроком 4 - увімкнути вакуум у відповідності до рисунку 3.19.

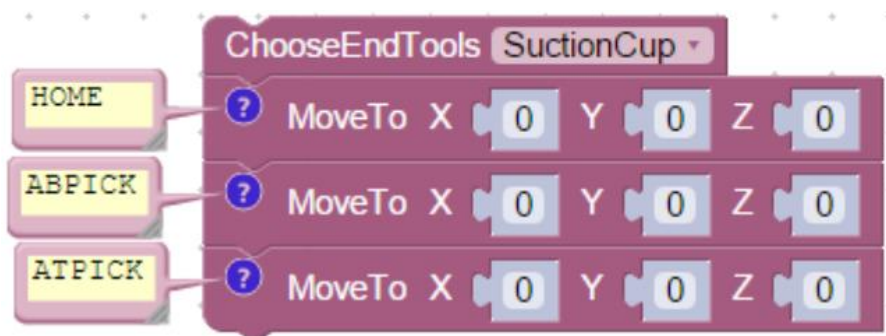


Рисунок 3.19 – З'єднання рядків коду перед кроком 4 - увімкнути вакуум

11. Перетягніть присоску та зв'яжіть її з нижньою частиною групи основних блоків у відповідності до рисунку 3.20.

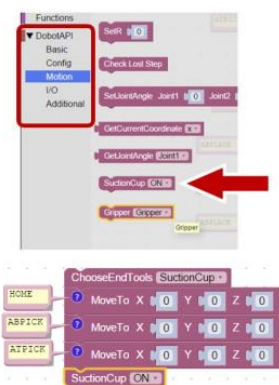


Рисунок 3.20 – З'єднання присоску з нижньою частиною групи основних блоків

Під час перетягування навколо блоків коду, якщо виберемо верхній блок, це дозволить перетягнути навколо цього блоку та всіх блоків, з'єднаних під ним. Якщо вибрано блок коду з середини рядка блоків, це від'єднає цей блок і всі блоки під ним.

12. Виконаємо решту частини програми. Додати одну додаткову команду SuctionCup, щоб вимкнути вакуум після розміщення блоку у відповідності до рисунку 3.21.

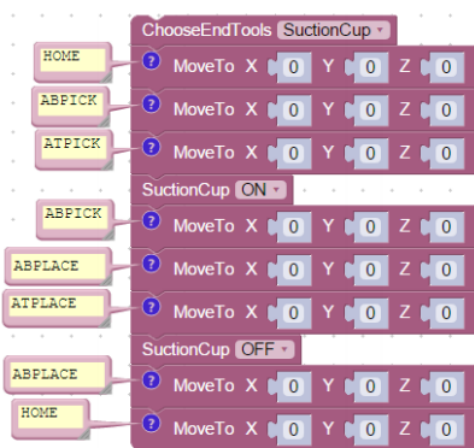


Рисунок 3.21 – Приєднання решти частини програми «Вибір і розміщення» для Dobot Magician

13. Збережіть програму та виберемо «Пуск», щоб запустити поточну програму у відповідності до рисунку 3.22.

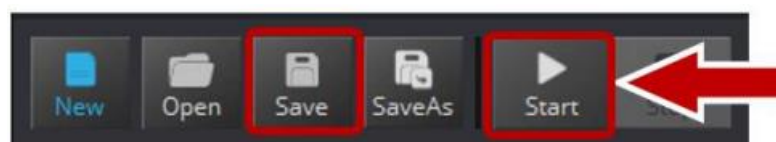


Рисунок 3.22 – Збереження та запуск програми

У Blockly у нас є проблема, коли присоска не повністю зачепилася, коли рука відсувається від розташування Позиція на об'єкті.

Ця проблему вирішується додаванням паузи в рядок коду, щоб дозволити утворитися вакууму у відповідності до рисунку 3.23.

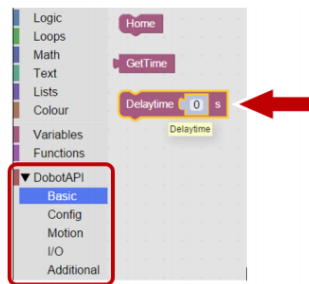


Рисунок 3.23 – Додавання паузи в рядок коду

14. Перетягнемо блок затримки на поле програмування. Блок коду додамо одним із двох різних способів.

Варіант 1. Розділимо рядки коду, вибравши позицію над об'єктом під командою SuctionCup On і перетягнемо її вниз. Далі додамо час затримки та зберемо нижню частину коду у відповідності до рисунку 3.24.

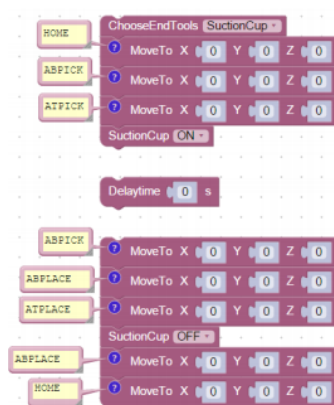


Рисунок 3.24 – Розділення рядків коду

Варіант 2. Перетягнемо час затримки в потрібне місце. Зачекаємо, поки підключення стане помаранчевим, і відпустимо код. Це

автоматично вставить рядок коду та змістить решту коду вниз у відповідності до рисунку 3.25.

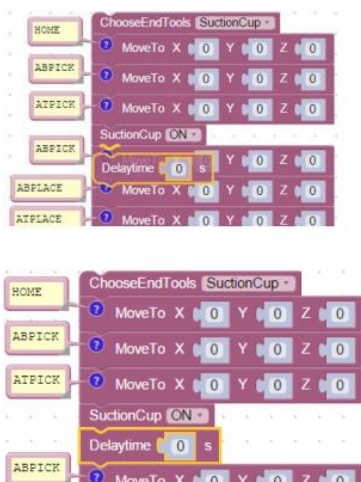


Рисунок 3.25 – Перетягування часу затримки в потрібне місце

15. Додамо додатковий час затримки після вимкнення вакууму. Знову перевіримо код. Час затримки налаштуємо належним чином у відповідності до рисунку 3.26.

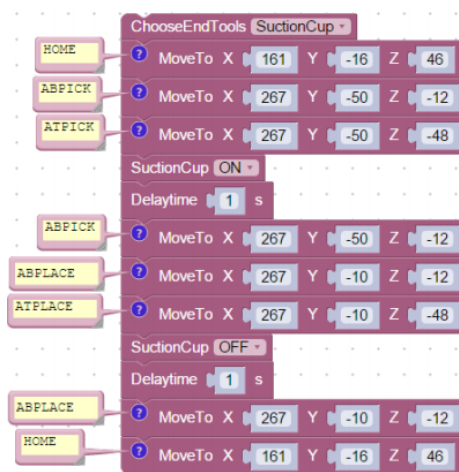


Рисунок 3.26 – Додавання додаткового часу затримки після вимкнення вакууму

3.3 Розробка програми повторюваних операцій для Dobot Magician

Під час програмування робота-маніпулятора Dobot Magician часто виникає необхідність повторювати операції задану кількість разів або нескінченно. Цього можна досягти, додавши до нашої програми різні стилі циклів. Також корисною звичкою програмування є оптимізація або скорочення рядків коду, коли це необхідно.

Є три основні типи циклів:

- нескінченний цикл;
- цикл «Поки»;
- цикл «Повторювати дію задану кількість разів».

Рух JUMP (СТРИБОК) поєднує три кроки в один. Він поєднує підняття вгору, над і назад до нової точки у відповідності до рисунку 3.27.

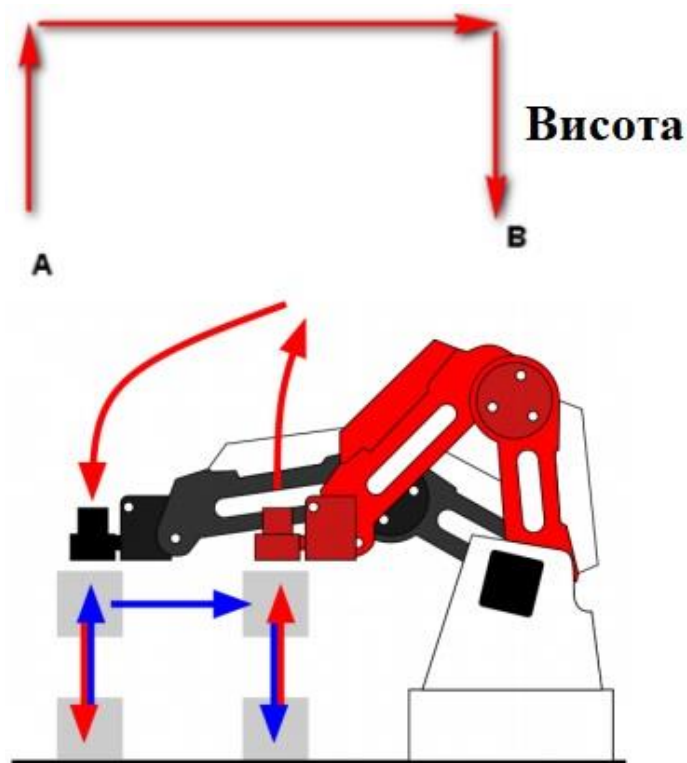


Рисунок 3.27 - Рух JUMP (СТРИБОК)

Цей тип руху спрощує повторювані рухи, наприклад операцію занурення або паяння. Висота Z визначається в параметрах JUMP в меню налаштувань.

1. Відкриємо версію програми «Вибір і розміщення». Рух JUMP не замінює початкову позицію над об'єктом на позицію над місцем розміщення, а також кінцеву позицію над місцем розміщення.

2. Видалимо рядки коду із програми «Вибір і розміщення» та замінимо їх командою JumpTo у відповідності до рисунку 3.28.

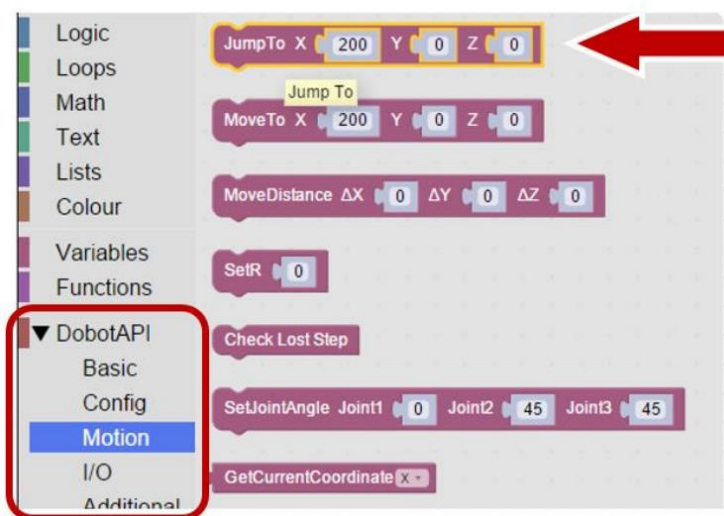


Рисунок 3.28 – Фрагмент програми із лабораторної роботи №7 із заміненою командою JumpTo

3. Відрегулюємо рухи по координатах X, Y та Z у відповідності до рисунку 3.29.

4. Виконаємо код, щоб перевірити правильну роботу робота-маніпулятора Dobot Magician.

5. Зациклимо програму (виконати програму певну кількість разів). Для цього використаємо блок повторення repeat та цикл while у відповідності до рисунку 3.30.

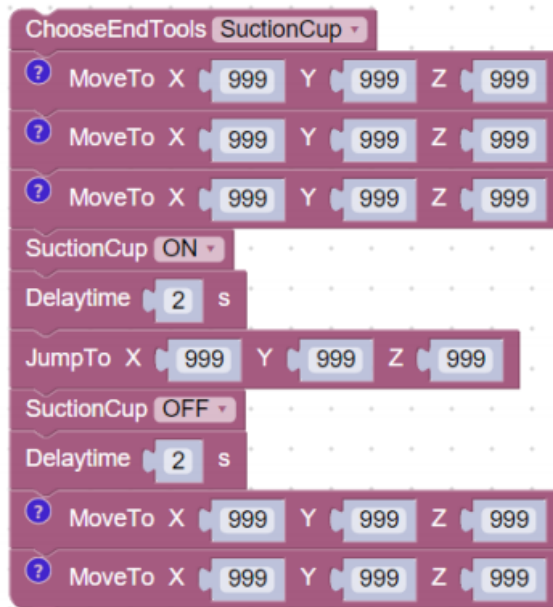


Рисунок 3.29 – Регулювання рухів по координатах X, Y та Z

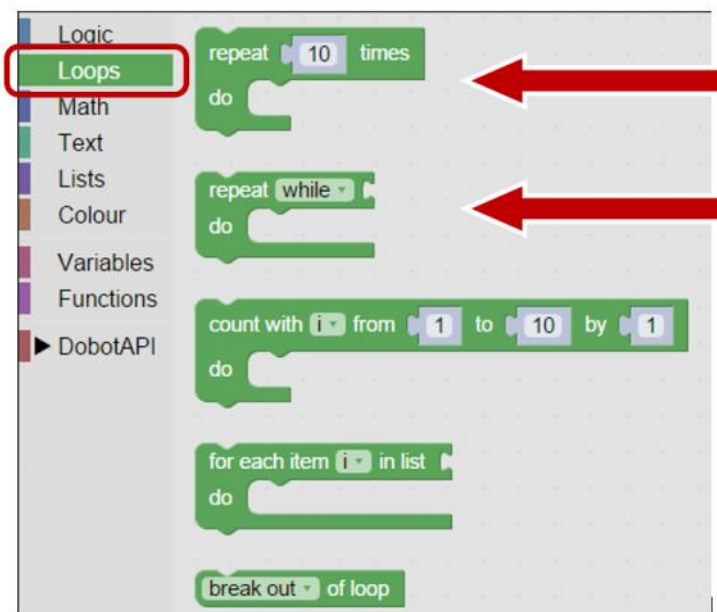


Рисунок 3.30 – Блок повторення repeat

Блок повторення repeat дуже простий у використанні. Перетягнемо блок повторення repeat у програмне середовище. Перетягнемо цей блок у порожній простір або перетягнемо його безпосередньо на верхнє з'єднання для ChooseEndTools.

Візьмемо верхній рядок наявної програми та перетягнемо його в блок повторення repeat у відповідності до рисунку 3.31.

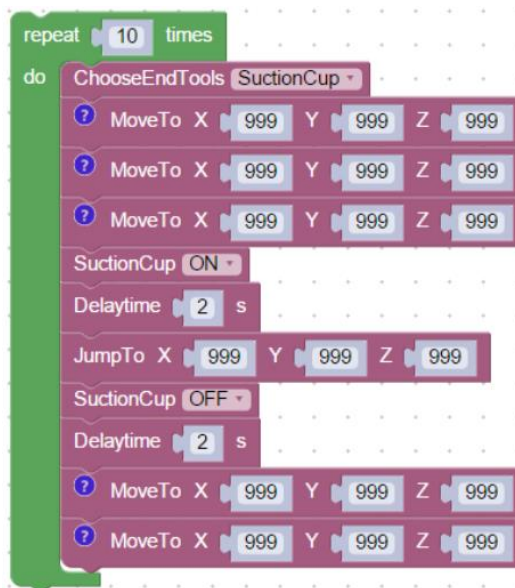


Рисунок 3.31 – Фрагмент програми із блоком повторення repeat

Цикл повторення автоматично розшириться, щоб охопити весь код. Тепер програма запускатиметься задану кількість разів, вказану в блоці повторення repeat.

6. Запустимо програму ще раз, щоб переконатися, що блок повторення repeat працює належним чином.

Багато разів у програмуванні потрібно додати УМОВУ (CONDITION) до циклів. Умова - це сценарій, який повинен бути виконаний, щоб почати цикл.

Багато разів потрібно щось повторювати, доки не буде зупинена програма. Цей тип циклу вважається нескінченним циклом і може бути створений за допомогою циклу while.

7. Створимо цикл while для цієї програми у відповідності до рисунку 3.32.

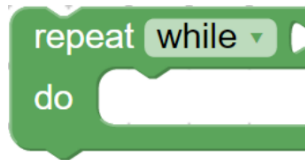


Рисунок 3.32 – Блок повторення repeat з умовою while

Блок повторення repeat while відрізняються від repeat, тому що repeat while вимагає, щоб умова була істинною або хибною, щоб визначити, чи виконувати дії чи ні у відповідності до рисунку 3.33.

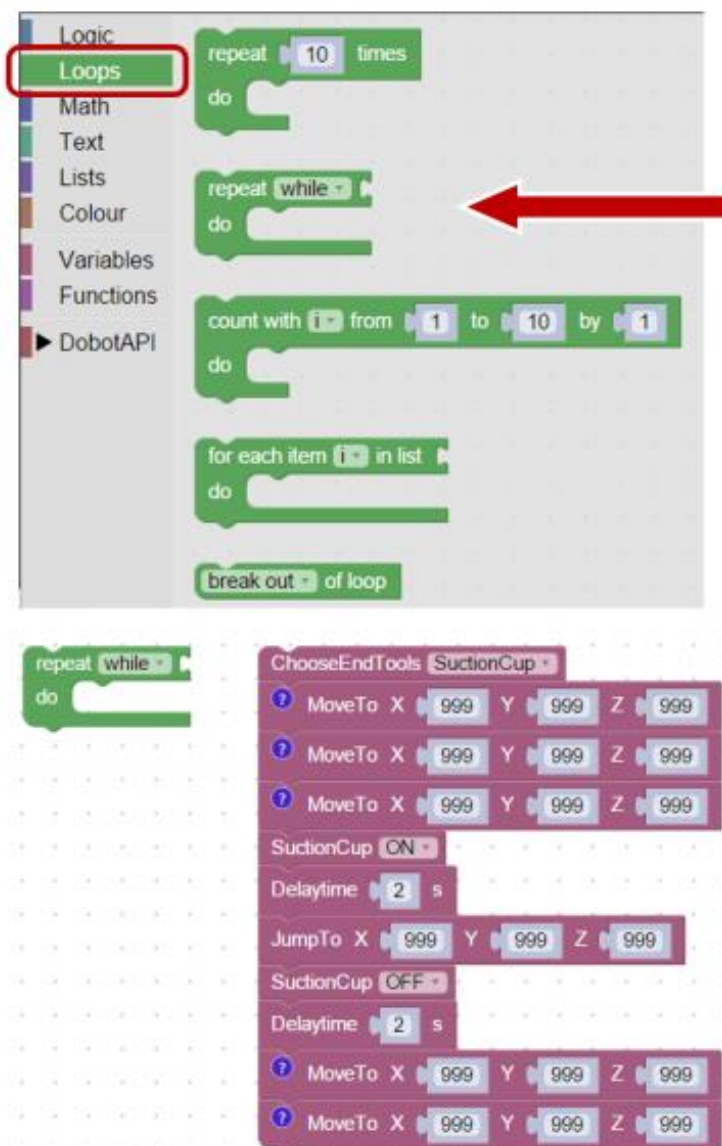


Рисунок 3.33 – Фрагмент програми із блоком repeat while

Цикл while виконуватиметься до тих пір, поки його умова не стане хибною, тому, щоб виконувати нескінченну кількість разів, оператор завжди має бути істинним. Наприклад, $1=1$, $4<5$, $100>3$, $1 \notin 2$.

Ці твердження завжди будуть вірними, незалежно від того, що трапиться. Використаємо їх для нашого циклу while, зробимо так, щоб твердження було Істинним, оскільки Істина ніколи не може бути Хибою у відповідності до рисунку 3.34.

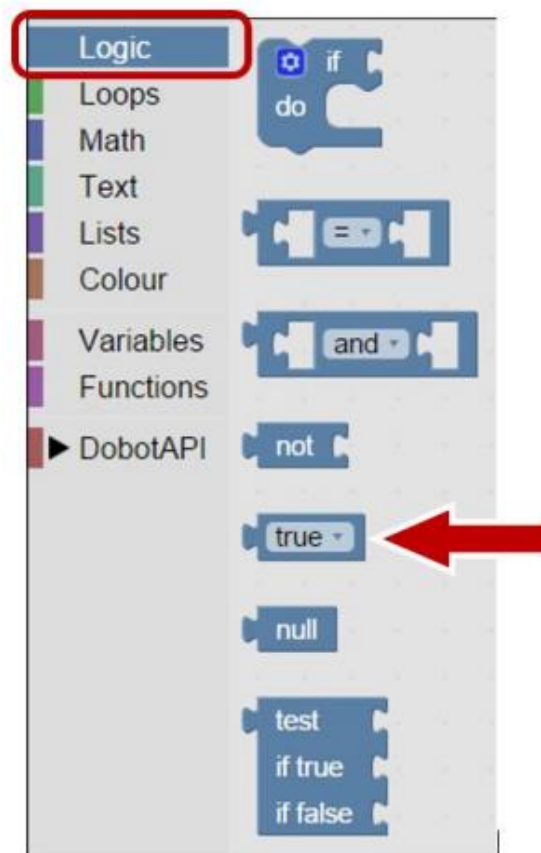


Рисунок 3.34 – Умови для циклу while

8. У розділі Logic виберемо блок True. Перетягнемо цей блок поряд із верхньою частиною циклу while, і поставимо його на місце. Це призведе до того, що цикл працюватиме нескінченно, оскільки оператор ніколи не може бути хибним у відповідності до рисунку 3.35.

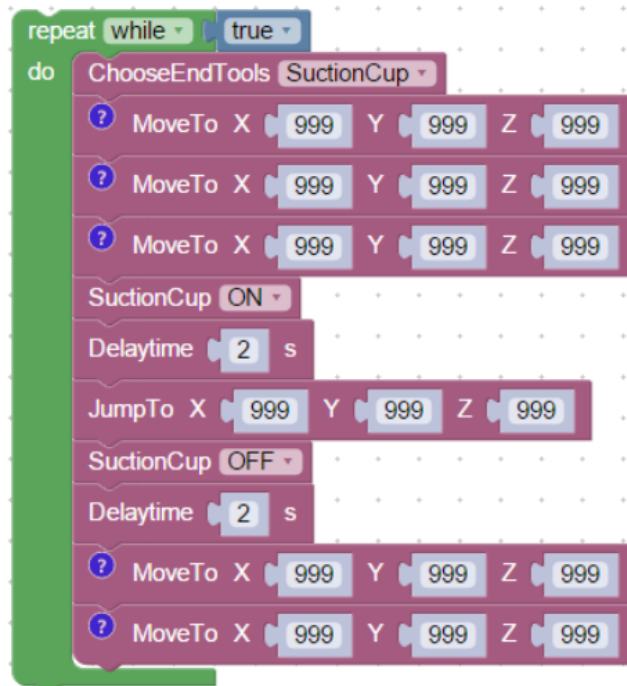


Рисунок 3.35 – Циклу while із умовою True

9. Ще раз запустимо програму, і побачимо, що коли програма виходить із блоку та повертається у безпечне положення, вона повертається до початку програми, щоб спробувати підібрати інший блок, і що це продовжуватиме повторюватися нескінченно, доки ви не натисніть кнопку зупинки, або робот вимкнеться.

3.4 Висновки до третього розділу

1. Робот-маніпулятор Dobot Magician - це комерційно доступний, легкий, багатофункціональний настільний робот-маніпулятором, який є моделлю промислового робота-маніпулятора із 3 ступенями свободи.

2. Програмне забезпечення Dobot Studio працює на основі графічного інтерфейсу користувача (ГІК). Графічний інтерфейс

користувача має такі функції, як надання команд Dobot Magician для виконання таких операцій, як написання тексту та малювання, лазерне гравірування, 3D-друк і керування роботом за допомогою жестів рукою. Графічний інтерфейс користувача має ще дві функції блок і скрипт для графічного та скриптового програмування відповідно.

3. Робот-маніпулятор Dobot Magician чудово підходить для виконання операцій вибору та розміщення, наприклад розміщення невеликих електронних компонентів на друкованих платах, а також невеликих предметів на піддонах. Операція «Вибір і розміщення» використовує 5 позицій.

4. Під час програмування робота-маніпулятора Dobot Magician часто виникає необхідність повторювати операції задану кількість разів або нескінченно. Цього можна досягти, додавши до нашої програми різні стилі циклів. Також корисною звичкою програмування є оптимізація або скорочення рядків коду, коли це необхідно.

ВИСНОВКИ

Найбільш часто використовуваним типом роботизованих рук у виробництві є серійні маніпулятори. Такі маніпулятори складаються з серії ланок, як правило, твердих тіл, з'єднаних разом і приведених в дію двигунами, що розміщені на з'єднаннях.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботів-маніпуляторів, а також створення робототехнічної системи сумісних пристроїв, які відповідають вимогам програми та відповідають визначенню конфігурації.

У другому розділі розроблено модель робота-маніпулятора Dobot Magician. Пряма кінематика описує, як рухається робот-маніпулятор Dobot Magician відповідно до введених кутів. Зворотна кінематика має розв'язуватися навпаки, ніж пряма кінематика

Виконано моделювання робота-маніпулятора Dobot Magician виконано за допомогою операційної системи роботів (ОСР). Створено 3D-модель робота-маніпулятора Dobot Magician в ОСР за допомогою URDF фалу (уніфікований формат опису робота), який є форматом XML, що дозволяє описувати фізичні властивості робота.

У третьому розділі розглянуто програмне забезпечення Dobot Studio працює на основі графічного інтерфейсу користувача (ГІК). Графічний інтерфейс користувача має такі функції, як надання команд Dobot Magician для виконання таких операцій, як написання тексту та малювання, лазерне гравірування, 3D-друк і керування роботом за допомогою жестів рукою.

Розроблено програму виконання операцій вибору та розміщення, а також програму, яка повторює операції задану кількість разів або нескінченно.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1 International Federation of Robotics. Режим доступу:

https://ifr.org/downloads/press2018/2021_10_28_WR_PK_Presentation_long_version.pdf

2 L. Sanneman, C. Fourie, and J. A. Shah, “The state of industrial robotics: Emerging technologies, challenges, and key research directions,” 2020.

3 N. H. Garcia and A. Wortmann, “Survey on robotic systems integration,” in 2023 IEEE/ACM 5th International Workshop on Robotics Software Engineering (RoSE), 2023, pp. 9–16.

4 “Robotics – vocabulary,” Danish Standards Association, Copenhagen, Denmark, Standard, 2021.

5 C. Hansen, The role of system integrators is radically changing. Режим доступу:

<https://blog.robotiq.com/the-role-of-system-integrators-is-radically-changing>

6 D. Tola and P. Corke, Understanding URDF: A Survey Based on User Experience, 2023.

7 “Manipulating industrial robots – mechanical interfaces – part 1: Plates,” International Organization for Standardization, Geneva, CH, Standard, 2004.

8 A. Owen-Hill, How Long Does a Robot Deployment Really Take? Режим доступу:

<https://blog.robotiq.com/how-long-does-a-robot-deployment-really-take>

					КРБАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

9 A. Owen-Hill, What is robot cell deployment? (and what it isn't),
Режим доступу:

<https://blog.robotiq.com/what-is-robot-cell-deployment-and-what-it-isnt>

10 C. G. Lee and S. C. Park, “ Survey on the virtual commissioning of manufacturing systems, ”Journal of Computational Design and Engineering, vol. 1, no. 3, pp. 213–222, 2014.

11 S. T. Mortensen and O. Madsen, “A virtual commissioning learning platform,” Procedia Manufacturing, vol. 23, pp. 93–98, 2018.

12 M. Oppelt and L. Urbas, “ Integrated virtual commissioning an essential activity in the automation engineering process: From virtual commissioning to simulation supported engineering,” in IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2014, pp. 2564–2570.

13 E. C. C. Platform, Definition of industrial ecosystems. Режим доступу:

<https://clustercollaboration.eu/in-focus/industrial-ecosystems/definition>

14 H. Legenvre, A.-P. Hameri, and R. Golini, “ Ecosystems and supply chains: How do they differ and relate,”Digital Business, vol. 2, no. 2, p. 100 029, 2022.

15 D. Stampfer, A. Lotz, M. Lutz, and C. Schlegel, “ The smartmdsd toolchain: An integrated mdsd workflow and integrated development environment (ide) for robotics software,” Journal of Software Engineering for Robotics (JOSER), vol. 7, pp. 3–19, Aug. 2016.

16 Object Management Group, Object Constraint Language. Режим доступу:

<https://www.omg.org/spec/OCL/2.4/PDF>

17 D. Sabin and R. Weigel, "Product configuration frameworks-a survey," IEEE Intelligent Systems and their Applications, vol. 13, no. 4, pp. 42–49, 1998.

18 G. Friedrich, D. Jannach, M. Stumptner, and M. Zanker, "Chapter 11 - knowledge engineering for configuration systems," in Knowledge-Based Configuration, Boston: Morgan Kaufmann, 2014, pp. 139–155.

19 D. Stampfer, "Contributions to system composition using a system design process driven by service definitions for service robotics," 2018.

20 E. Schäffer, S. Fröhlig, A. Mayr, and J. Franke, "A method for collaborative knowledge acquisition and modeling enabling the development of a knowledge-based configurator of robot-based automation solutions," Procedia CIRP, vol. 86, pp. 92–97, Oct. 2019.

21 Robot arm: Definition, components, types and the way to choose a right robot. . Режим доступу:

<https://www.ufactory.cc/post/robot-arm-definition-components-types-and-ways-tochoose-a-right-robot>

22 Lynch, Kevin M. Park, Frank C. Modern Robotics: Mechanics, planning, and Control. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2017.

23 M. R. Islam, M. A. Rahaman, M. A. U. Zaman, and M. Habibur, "Cartesian trajectory based control of dobot robot," in Proc. Int. Conf. Ind. Eng. Operations Manage, pp. 1507-1517, 2019.

24 S. A. Kouritem, M. I. Abouheaf, N. Nahas, and M. Hassan, "A multiobjective optimization design of industrial robot arms," Alexandria Engineering Journal, vol. 61, no. 12, pp. 12847-12867, 2022.

25 R. Holubek, M. Janíček, and G. O. Tirian, “Verification of the voice control modification of robot-DOBOT Magician depending to change voice frequency,” J. Phys. Conf. Ser., vol. 2212, no. 1, 2022.

26 S. Chakraborty and P. S. Aithal, “Open Loop Automated Baby Cradle Using Dobot Magician and C#,” Int. J. Appl. Eng. Manag. Lett., vol. 6, no. 1, pp. 344–349, 2022.

27 P. S. Tsai, T. F. Wu, J. Y. Chen, And F. H. Lee, “Drawing System With Dobot Magician Manipulator Based On Image Processing,” Machines, vol. 9, no. 12, 2021.

28 N. O. M. Chilo, L. F. C. Ccari, E. Supo, E. S. Espinoza, Y. S. Vidal, and L. Pari, "Optimal Signal Processing for Steady Control of a Robotic Arm Suppressing Hand Tremors for EOD Applications," IEEE Access, vol. 11, pp. 13163-13178, 2023.

29 M. Slim, N. Rokbani, B. Neji, M. A. Terres, and T. Beyrouthy, "Inverse Kinematic Solver Based on Bat Algorithm for Robotic Arm Path Planning," Robotics, vol. 12, no. 2, p. 38, 2023.

30 N. Wagaa, H. Kallel, and N. Mellouli, "Analytical and deep learning approaches for solving the inverse kinematic problem of a high degrees of freedom robotic arm," Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 123, p. 106301, 2023.

31 S. Dikmenli, “Forward & inverse kinematics solution of 6-dof robots those have offset & spherical wrists,” Eurasian J. Sci. Eng. Technol., vol. 3, no. 1, pp. 14–28, 2022.

32 F. Gonçalves, T. Ribeiro, A. F. Ribeiro, G. Lopes, and P. Flores, “A recursive algorithm for the forward kinematic analysis of robotic systems using euler angles,” Robotics, vol. 11, no. 1, pp. 1–20, 2022.

33 H. Z. Ting, M. Hairi, M. Zaman, M. Ibrahim, and A. Moubark, "Kinematic analysis for trajectory planning of open-source 4-DoF robot arm," International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 12, no. 6, pp. 769-777, 2021.

34 M. Anschober, R. Edlinger, R. Froschauer, and A. Nüchter, "Inverse kinematics of an anthropomorphic 6r robot manipulator based on a simple geometric approach for embedded systems," Robotics, vol. 12, no. 4, 2023.

35 B. Tam, T. A. O. Linh, T. Nguyen, T. Nguyen, H. Hasegawa, and D. Watanabe, "DE-based algorithm for solving the inverse kinematics on a robotic arm manipulators," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1922, no. 1, 2021.

36 D. Rodríguez-Guerra, G. Sorrosal, I. Cabanes, and C. Calleja, "HumanRobot Interaction Review: Challenges and Solutions for Modern Industrial Environments," in IEEE Access, vol. 9, pp. 108557-108578, 2021.

37 H. P. Nurba, D. Hadian, N. Lestari, K. A. Munastha, H. Mistialustina, and E. Rachmawati, "Performance Evaluation of 3 DOF Arm Robot With Forward Kinematics Denavit-Hartenberg Method For Coffee Maker Machine," 16th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), pp. 1-6, 2022.

38 H. Afrisal, A. D. Setiyadi, M. A. Riyadi, R. Ismail, O. Toirov, and I. Setiawan, "Performance Analysis of 4-DOF RPRR Robot Manipulator Actuation Strategy for Pick and Place Application in Healthcare Environment," International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, vol. 12, no. 6, pp. 2258-2265, 2022.

39 E. A. Nugroho, N. R. Wibowo, R. Rizalludin, and M. Ruswanda, "Fuzzy system as four-joint robot movement control for moving goods based on time and object color," Jurnal Ramatekno, vol. 2, no. 2, pp. 7-15, 2022.

40 N. Sharkawy, "Forward and inverse kinematics solution of a robotic manipulator using a multilayer feedforward neural network," Journal of Mechanical and Energy Engineering, vol. 6, no. 2, 2022.

					КРБАКІТ. 2020022.01.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

ДОДАТКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ТЕМУ:

Лабораторний стенд для вивчення роботи-маніпулятора

Виконав

ст. гр. АКІТ-20-1

Олександр БОРЧЕНКО

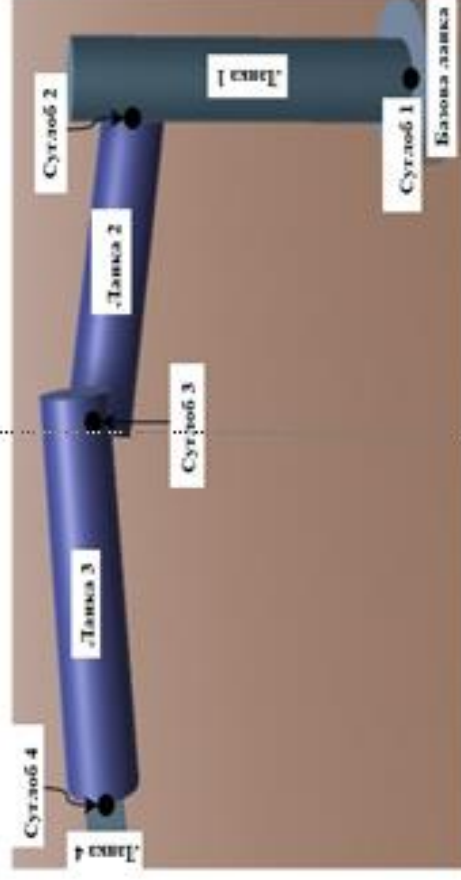
Науковий керівник

д.т.н., проф.

Валерій МАРТИНЮК

Приклад роботизованої руки, яка складається із 4 суглобів та 4

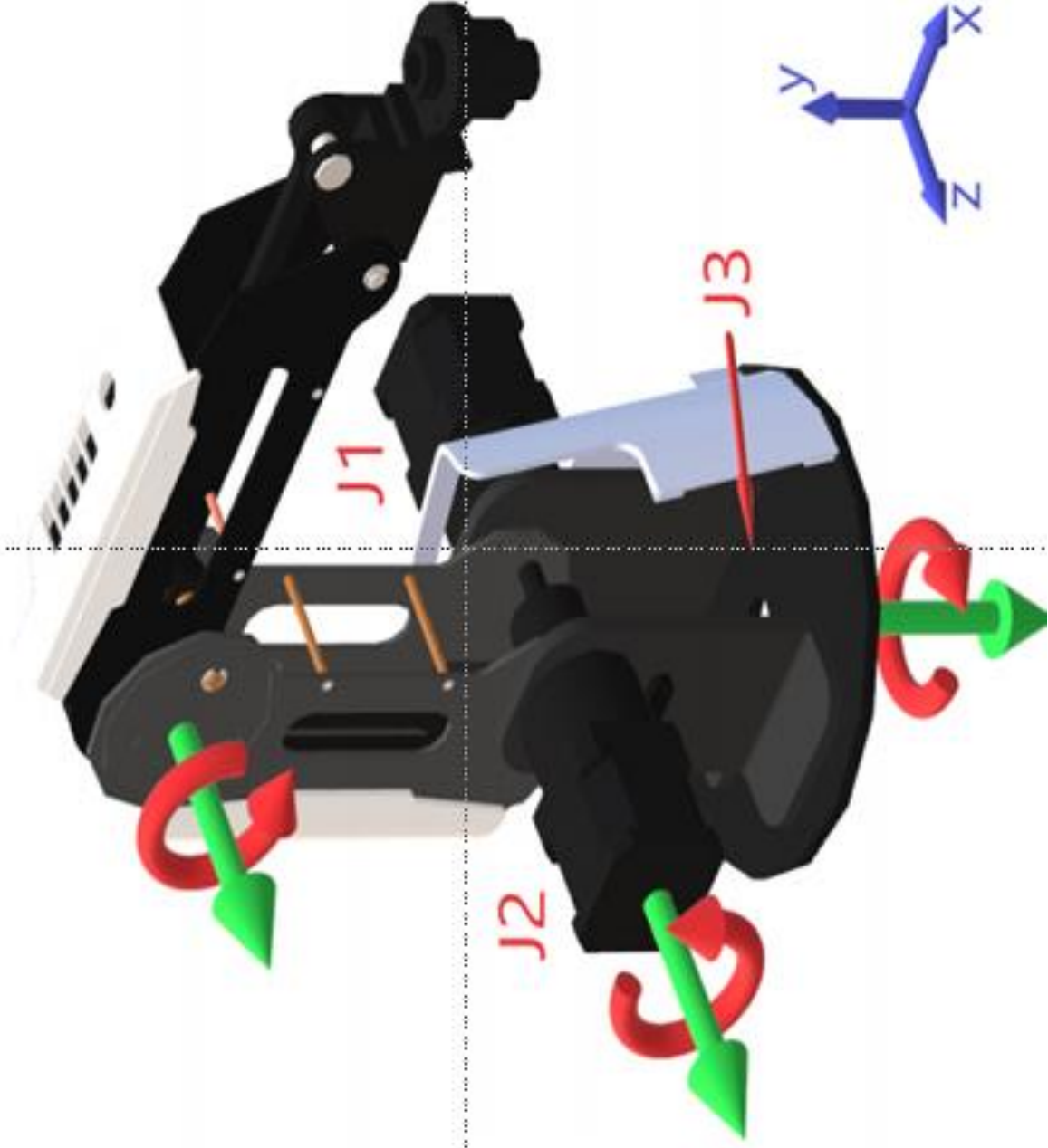
ланок



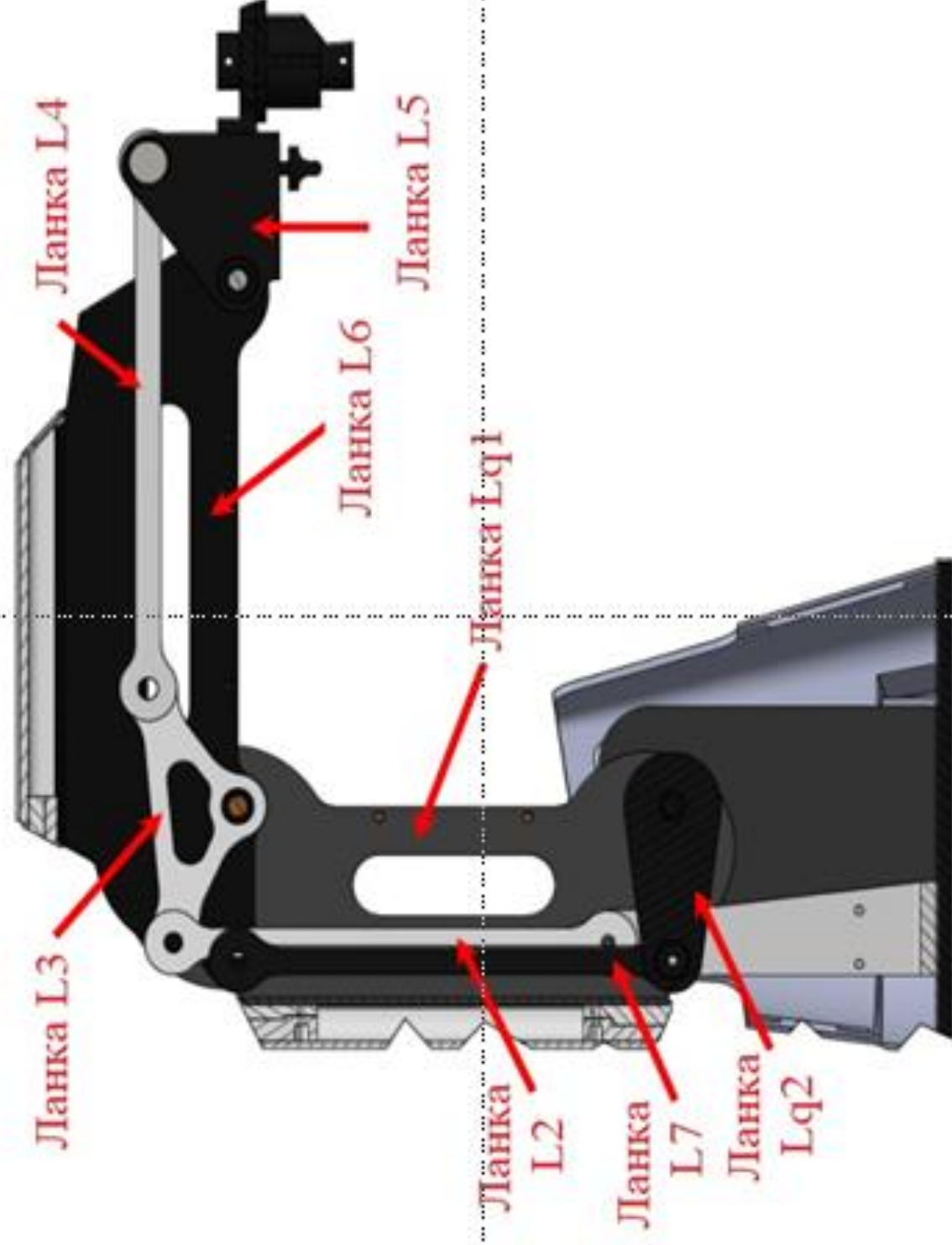
Робот-маніпулятор Robot Magician (Добот Чарівник)

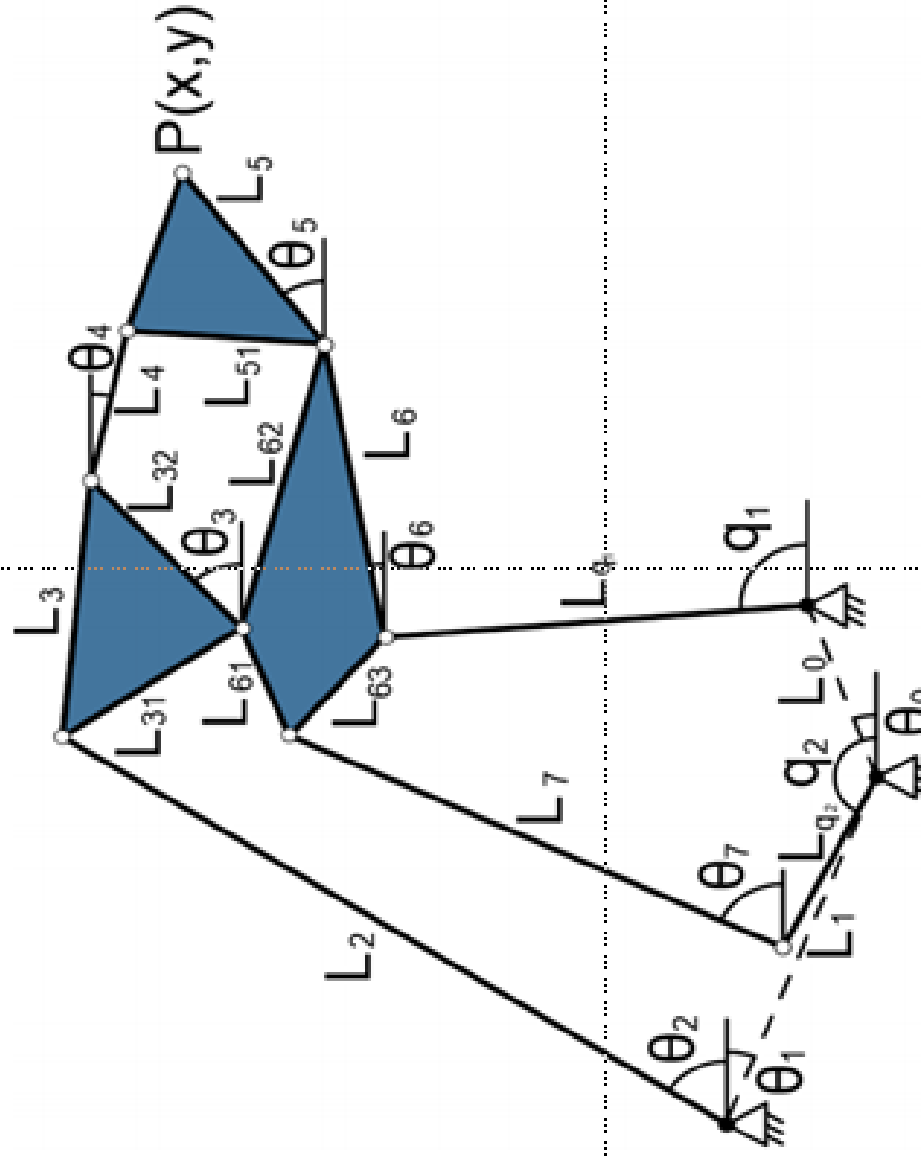


Тривимірна модель робота-маніпулятора Dobot Magician

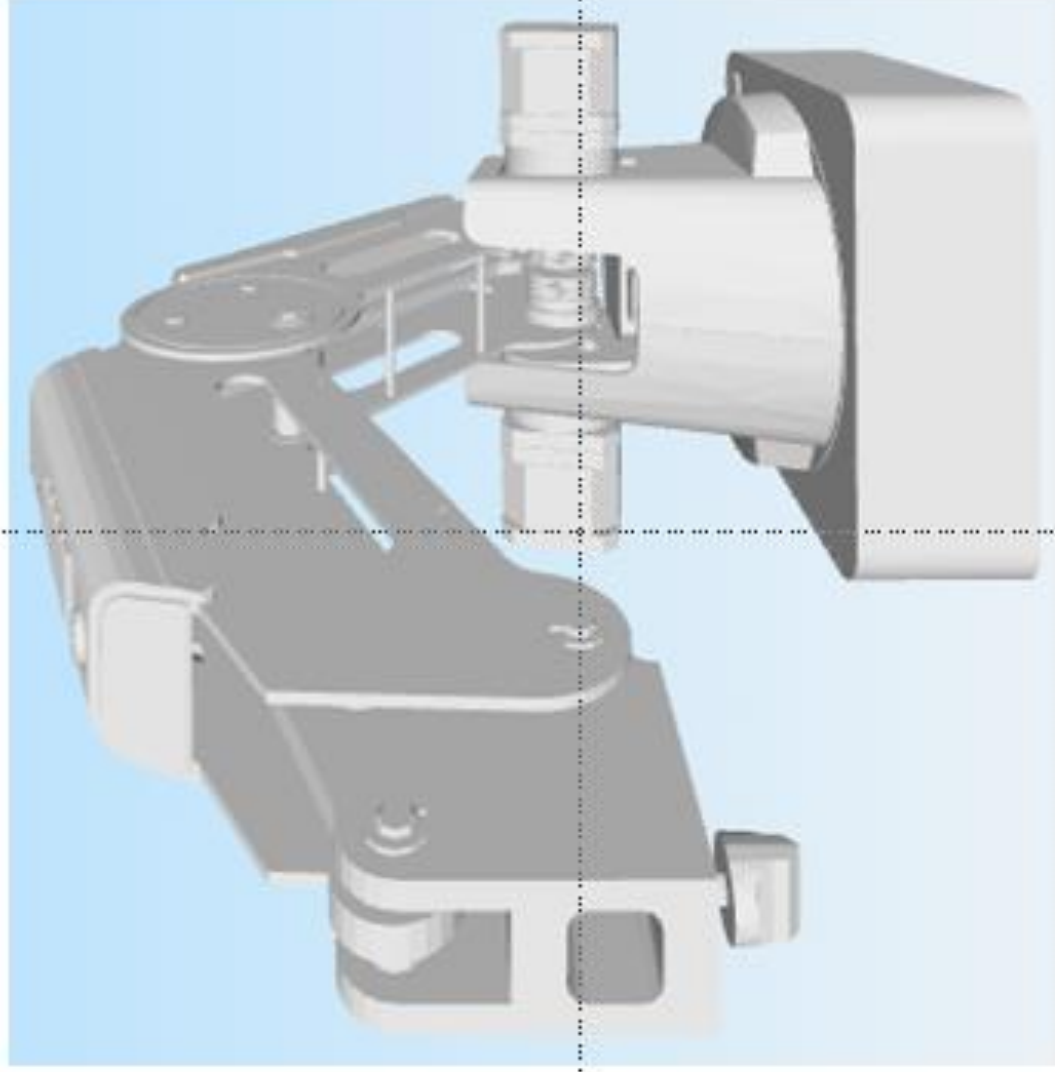


Механізм всередині у розрізі корпусу робота-маніпулятора Dobot Magician





3D імітаційна модель робота-маніпулятора Dobot Magician

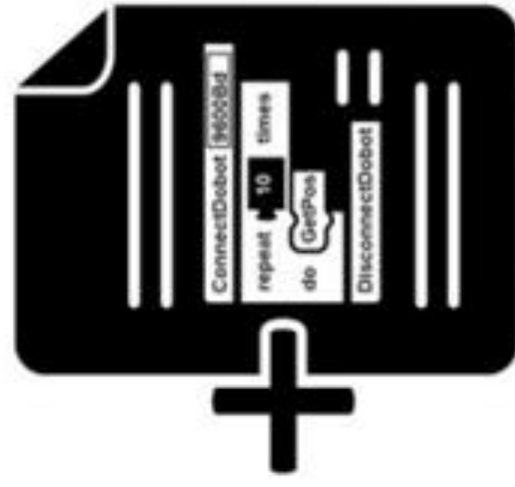


Інтерфейс програмного забезпечення Robot Studio

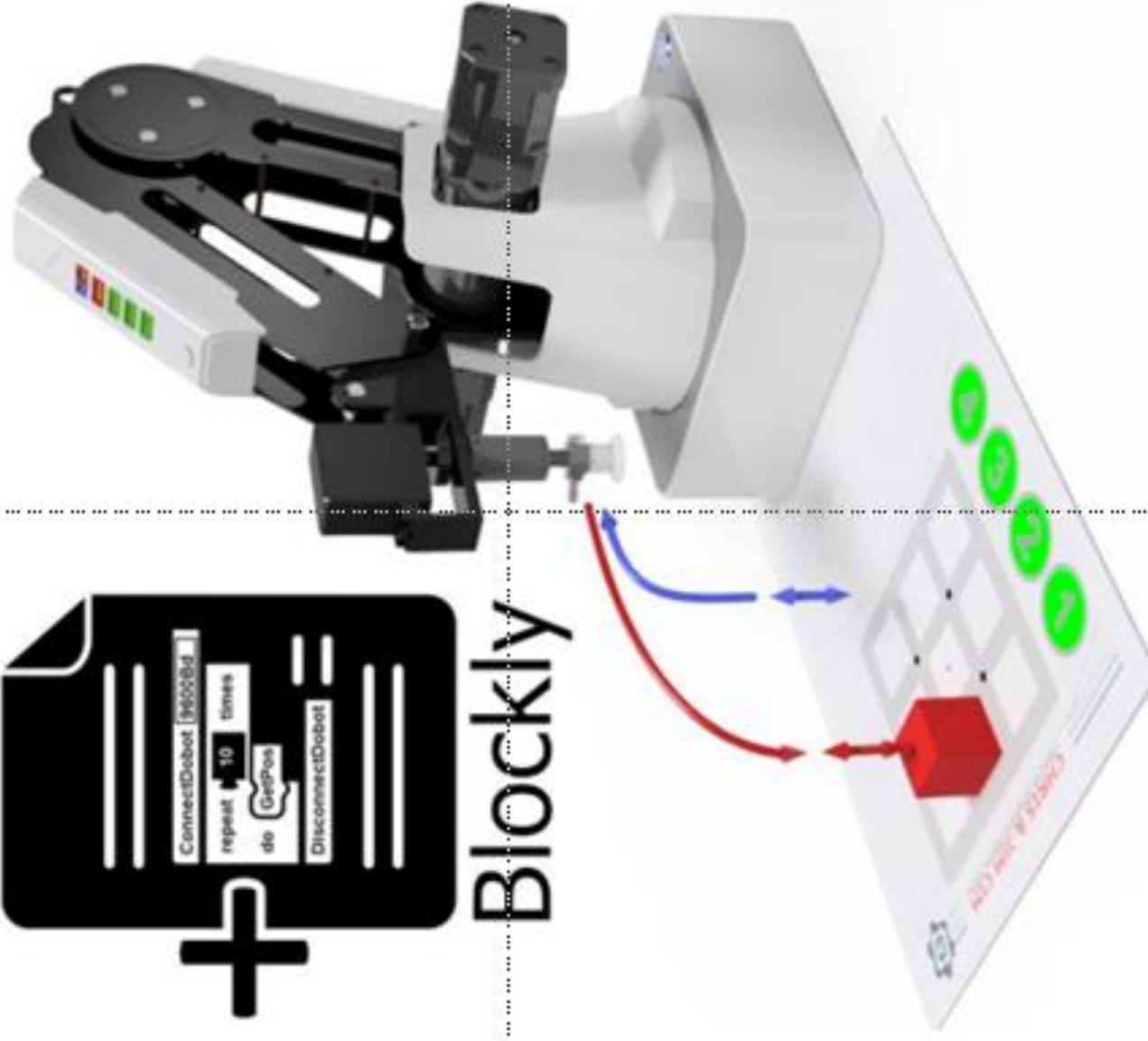


Виконання базової операція «Вибір і розміщення»

9

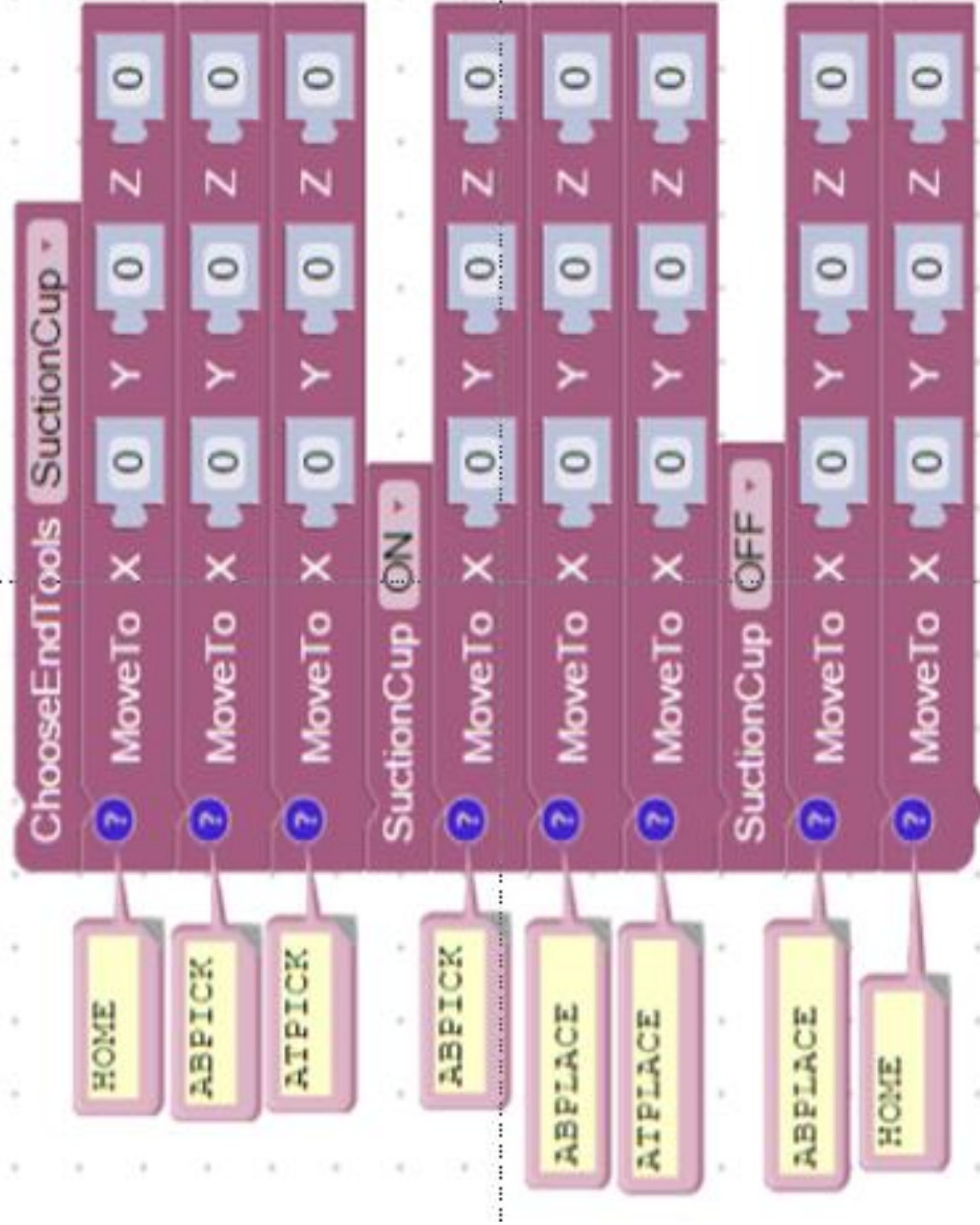


Blockly



Програма базової операція «Вибір і розміщення» на мові Blockly у програмному забезпеченні Robot Studio

10



Найбільш часто використовуваним типом роботизованих рук у виробництві є серійні маніпулятори. Такі маніпулятори складаються з серії ланок, як правило, твердих тіл, з'єднаних разом і приводених в дію двигунами, що розміщені на з'єднаннях.

В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботів-маніпуляторів, а також створення робототехнічної системи сумісних пристроїв, які відповідають вимогам програми та відповідають визначенню конфігурації.

У другому розділі розроблено модель робота-маніпулятора Dobot Magician. Пряма кінематика описує, як рухається робот-маніпулятор Dobot Magician відповідно до введених кутів. Зворотна кінематика має розв'язуватися навіпаки, ніж пряма кінематика

Виконано моделювання робота-маніпулятора Dobot Magician виконано за допомогою операційної системи роботів (ОСР). Створено 3D-модель робота-маніпулятора Dobot Magician в ОСР за допомогою URDF файлу (уніфікований формат опису робота), який є форматом XML, що дозволяє описувати фізичні властивості робота. У третьому розділі розглянуто програмне забезпечення Dobot Studio являє на основі графічного інтерфейсу користувача (ГІК). Графічний інтерфейс користувача має такі функції, як надання команд Dobot Magician для виконання таких операцій, як написання тексту та малювання, лазерне гравірування, 3D-друк і керування роботом за допомогою жестів рукою.

Розроблено програму виконання операцій вибору та розміщення, а також програму, яка повторює операції задану кількість разів або нескінченно.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Борченко О.А.

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи АКІТ-20-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

03.06.2024

дата



підпис

Ім'я користувача:
Кафедра АКІПІТК

ID перевірки:
1016377063

Дата перевірки:
20.06.2024 07:21:34 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
20.06.2024 07:29:07 EEST

ID користувача:
100005862

Назва документа: Борченко_антиплагіат

Кількість сторінок: 67 Кількість слів: 8854 Кількість символів: 67250 Розмір файлу: 4.52 MB ID файлу: 1016185424

1307 слів позначені як "вилучені" та не враховуються у підрахунку слів

2.39% Схожість

Найбільша схожість: 1.55% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1015322124)

2.08% Джерела з Інтернету 163 Сторінка 69

1.84% Джерела з Бібліотеки 6 Сторінка 69

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

0% Вилучень

Деякі джерела вилучено автоматично (фільтри вилучення: кількість знайдених слів є меншою за 8 слів та 0%)

Немає вилучених Інтернет-джерел

0% Вилученого тексту з Бібліотеки 7 Сторінка 69

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 10

Anti-Plagiarism v-15.257**Максимальне співпадіння з одним документом 2.0%****Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 13%**

ID: 131645 Назва: БКР Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора Додано в БД: 2024-06-20 Автора: Олександр БОРЧЕНКО Керівники: Валерій МАРТИНЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	59191	473	1244 (2%)	14 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломниця: Борченко Олександр Анатолійович

Тема: Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 14 Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Вступ. Огляд літературних джерел та патентних даних. Основна частина. Розробка програми для вивчення робота-маніпулятора. Висновки.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі були розглянуті наступні питання: будова і принцип роботи роботів-маніпуляторів. У другому розділі розроблено математичну модель робота-маніпулятора. У третьому розділі розглянуто програмне забезпечення Dobot Studio працює на основі графічного інтерфейсу користувача.
4. Позитивні сторони роботи: розробка програми керування роботом-маніпулятором Dobot Magician в ОСР за допомогою URDF фалу.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється розробці зворотної кінематики робота-маніпулятора Dobot Magician.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

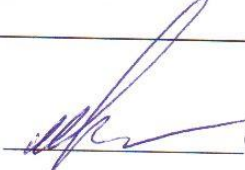
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (3,50/D)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Шичман Віктор Володимирович, доцент
кафедри ТМІТ

"24" червня 2024 р.

 (підпис)

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Лабораторний стенд для вивчення робота-маніпулятора
 Автор: Борченко Олександр Анатолійович
 Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
 Науковий керівник: Мартинюк Валерій Володимирович, доктор технічних наук, професор
 Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноновживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 2,39% і адресується до 169 джерел, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Валерій МАРТИНЮК