

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення системи автоматизації обладнання з вбудованим роботом для
виготовлення виробів мікроелектроніки
(тема)

Виконав:
здобувач 2 року навчання,
групи КТРСм-23-2
Лашин З.В.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Хрустальов К.Л.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«25» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Лашину Захару Віталійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи автоматизації обладнання з вбудованим роботом для виготовлення виробів мікроелектроніки

Затверджена наказом по університету від 25.11.2024 р. № 1239Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 22.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Використання декількох видів датчиків позиціонування;

3.2 Використання моделювання за допомогою модулю нейронної мережі;

3.3 похибка маніпулятора в межах $\times 10^{-6}$ до 5×10^{-6} ;

3.4 Середовище для створення програми – Unity3D;

3.5 Вирішення завдання синтезу управління вбудованим роботом.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ;

4.2 Аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів;

4.3 Вибір методу сортування деталей мікроелектроніки;

4.4 Розробка функціональної та структурної схем автоматизованої системи;

4.5 Розрахунок параметрів системи управління вбудованим роботом;

4.6 Розробка та моделювання програмного модуля нейронної мережі;

4.7 Висновки та перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації Power Point(*.pptx).12–с.ФорматуА4.

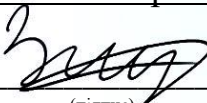
6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	02.12.2024	Виконано
2	Аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів	09.12.2024	Виконано
3	Вибір методу сортування деталей мікроелектроніки	12.12.2024	Виконано
4	Розробка функціональної схеми	23.12.2024	Виконано
5	Розробка структурної схеми автоматизованої системи	30.12.2024	Виконано
6	Розрахунок параметрів системи управління вбудованим роботом	06.01.2025	Виконано
7	Розробка програмного модуля нейронної мережі	17.01.2025	Виконано
8	Моделювання роботи модуля нейронної мережі	20.01.2025	Виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	22.01.2025	Виконано
10	Подання кваліфікаційної роботи до ЕК		

Дата видачі завдання 25.11.2024 р.

Здобувач 
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

доц. Хрустальов К.Л.
(прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«22» січня 2025 р.



Лашин З.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 75 с., 4 табл., 37 рис., 2 дод., 25 джерел.

АВТОНОМНИЙ РОБОТ СОРТУВАННЯ, ВБУДОВАНІ РОБОТИ, КІНЕМАТИКА, МАНІПУЛЯТОР, МІКРОЕЛЕКТРОНІКА, ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ, СИНХРОНІЗАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – процес локального позиціонування вбудованих в технологічний процес роботів відносно промислового обладнання.

Предмет дослідження – методи визначення поточного положення компонентів мікроелектроніки за допомогою вбудованих в технологічний процес транспортних роботів та маніпуляторів.

Мета роботи – вдосконалення методу позиціонування універсальних роботів вбудованих в технологічний процес для промислового обладнання з вирішення задачі сортування радіоелементів засобів мікроелектроніки, стикування частин механізмів виробничих конвеєрів та автономних роботизованих платформ.

Отримані результати розробки можна застосовувати у дослідженнях методів позиціонування маніпуляторів на виробництві та мінімізувати похибки.

Також, отримані результати роботи можна віднести до Цілі сталого розвитку 9 “Промисловість, інновації та інфраструктура” а саме п. 9.4 “Сприяти прискореному розвитку високо-та середньо-високотехнологічних секторів переробної промисловості, які формуються на основі використання ланцюгів «освіта – наука – виробництво» та кластерного підходу за напрямками: розвиток інноваційної екосистеми”.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані у збірнику наукових статей [1].

THE ABSTRACT

The explanatory note contains: 75 p., 4 tab., 37 fig., 2 app., 25 sources.

AUTONOMOUS SORTING ROBOT, EMBEDDED ROBOTS, KINEMATICS, MANIPULATOR, MICROELECTRONICS, SOFTWARE MODULE, SYNCHRONIZATION.

The object of research is the process of local positioning of robots built into the technological process relative to industrial equipment.

The subject of research is methods of determining the current position of microelectronics components using transport robots and manipulators built into the technological process.

The purpose of the work is to improve the method of positioning universal robots embedded in the technological process for industrial equipment to solve the problem of sorting radio elements of microelectronics, docking parts of mechanisms of production conveyors and autonomous robotic platforms.

The obtained development results can be used in studies of manipulator positioning methods in production and minimize errors.

Also, the obtained work results can be attributed to Sustainable Development Goal 9 "Industry, Innovation and Infrastructure", namely item 9.4 "To promote the accelerated development of high- and medium-high-tech sectors of the processing industry, which are formed on the basis of the use of chains "education - science - production" and cluster approach by direction: development of the innovation ecosystem".

The results of the qualification work were approved in the collection of scientific articles [1].

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз систем автоматизації виготовлення виробів мікроелектроніки.....	12
1.1 Аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів у виробничому процесі	12
1.2 Аналіз методів застосування вбудованих роботів в технологічний процес забезпечення виробничої лінії засобами мікроелектроніки	19
1.3 Система позиціонування автономних транспортних роботів	21
1.4 Висновки до першого розділу	30
2 Методи сортування деталей мікроелектроніки з використанням вбудованого робототехнічного засобу.....	31
2.1 Автоматизовані пристрої для автоматичного орієнтування компонентів мікроелектроніки.....	31
2.2 Автоматичне орієнтування елементів мікроелектроніки	36
2.3 Аналіз механізмів завантажувальних пристроїв	37
2.4 Висновки до другого розділу.....	41
3 Розробка архітектури та структурної схеми автоматизованої системи	42
3.1 Розробка функціональної схеми	42
3.2 Розробка структурної схеми автоматизованої системи	43
3.3 Розробка конструкції механізму подачі компонентів мікроелектроніки.....	44
3.4 Розрахунок параметрів системи управління вбудованим роботом.....	46
3.5 Висновки до третього розділу	51

4	Експериментальні дослідження.....	52
4.1	Вибір програмного засобу реалізації програмної моделі вбудованого робота.....	52
4.2	Створення програмної моделі вбудованого роботизованого маніпулятора.....	53
4.3	Аналіз принципу інверсної кінематики	54
4.4	Аналіз принципу інверсної кінематики	57
4.5	Розробка програмного модуля нейронної мережі	61
4.6	Моделювання роботи модуля нейронної мережі.....	64
4.7	Висновки до четвертого розділу.....	69
	Висновки.....	70
	Перелік посилань	72
	Додаток А Апробація результатів наукових досліджень.....	76
	Додаток Б Демонстраційний матеріал	87

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АТР – автономний транспортний робот;

БЗОП – бункерні завантажувально-орієнтуючі пристрої;

ІЧ – інфрачервоний;

ПК – персональний комп'ютер;

ПЛК – програмований логічний контролер;

ПОІ – пристрій обробки інформації;

ТЗ – технічне завдання;

УЗ – ультразвуковий;

ЧПУ – чисельно-програмне управління;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція;

AGV – автоматизовані керовані транспортні засоби;

GNSS – глобальна навігаційна супутникова система;

PID – пропорційно-інтегрально-похідна;

SLAM – simultaneous localization and mapping.

ВСТУП

Сучасні виробничі підприємства стикаються з постійним тиском на підвищення продуктивності, зменшення витрат і покращення ефективності. Одним із способів досягнення цих цілей є впровадження автономних транспортних роботів (АТР) та вбудованих роботизованих маніпуляторів в технологічний процес виготовлення засобів мікроелектроніки. АТР – це роботи, які здатні переміщати вантажі на виробничих і складських об'єктах без втручання людини, використовуючи системи автоматизації для навігації та виконання своїх завдань. Вони стають дедалі популярнішими завдяки можливостям підвищення ефективності, зменшення людських помилок і оптимізації логістичних процесів. Сортувальні маніпулятори – це пристрої для розподілення деталей мікроелектроніки за певними ознаками.

Вбудовані в технологічний процес транспортні роботи здатні виконувати завдання з транспортування матеріалів, компонентів або готової продукції швидко та безперервно. Вони працюють 24/7 без потреби в перервах, що дозволяє значно підвищити продуктивність виробничих ліній. У порівнянні з ручним транспортуванням, яке залежить від людських ресурсів і фізичних можливостей, роботи можуть виконувати більший обсяг роботи за менший час.

Проблема впровадження автономного вбудованого в технологічний процес робота з промисловим обладнанням, таким як є, наприклад конвеєр, або сортувальний автомат автоматизованої системи виготовлення засобів мікроелектроніки, є складною технічною задачею, що може значно впливати на якість продукції, що виготовляється. Основні труднощі полягають у точності позиціонування робота біля конвеєра, синхронізації його рухів із конвеєром та забезпеченні надійного механізму передачі вантажу.

Метою цієї роботи є вдосконалення методу позиціонування універсальних роботів вбудованих в технологічний процес для промислового обладнання з вирішення задачі сортування радіоелементів засобів

мікроелектроніки, стикування частин механізмів виробничих конвеєрів та автономних роботизованих платформ.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес локального позиціонування вбудованих в технологічний процес роботів відносно промислового обладнання.

Предмет дослідження – методи визначення поточного положення компонентів мікроелектроніки за допомогою вбудованих в технологічний процес транспортних роботів та маніпуляторів.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз методів та принципів використання транспортних роботів у виробничому процесі;
- провести аналіз методів сортування засобів мікроелектроніки з використанням роботизованих засобів;
- виконати аналіз принципу визначення позиції мобільного робота відносно промислового обладнання;
- розробити архітектуру автоматизованої системи;
- виконати побудову алгоритму та розробити програму для проведення експериментальних досліджень;
- виконати експериментальні дослідження для підтвердження правильності теоретичних рішень;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно ДСТУ 3008:2015 [2], а також з методичними вказівками з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» [3-4], та згідно положень [5-9].

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ

1.1 Аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів у виробничому процесі

Автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV), також відомі як мобільні роботи, – це універсальні роботизовані системи, здатні пересуватися по лініях, поверхнях або всередині виробничого простору [10]. На відміну від фіксованих роботизованих маніпуляторів, які прикріплені до основи за допомогою ланок і з'єднань, AGV є автономними та пропонують широкий діапазон руху та доступності. Однак функціональність роботизованих маніпуляторів може бути значно розширена при встановленні на AGV.

Інтеграція AGV з роботами створює мобільну платформу, яка виконує різноманітні завдання, включаючи дистанційне керування, телеманіпуляції, сканування та зондування. AGV використовуються в багатьох сферах застосування, таких як виробництво, складування, інспекція, розвідка, транспортування та військові операції.

Системи AGV – це галузь автоматизації, що включає складні елементи керування та передові системи наведення, які дозволяють їм подорожувати на великі відстані та виконувати численні завдання. Вони використовують різні технології навігації, включаючи сприйняття, локалізацію, планування шляху та керування рухом, якими може керувати бортовий комп'ютер, центральна комп'ютерна система або диспетчер.

Шляхи для AGV ретельно сплановані, щоб уникнути потенційних перешкод, блокувань або перешкод, які можуть порушити їхню роботу (рис. 1.1). Крім того, системи AGV потребують гладкої рівної поверхні для оптимальної роботи, оскільки вони не призначені для навігації по дірах, нерівностях або тріщинах [12].

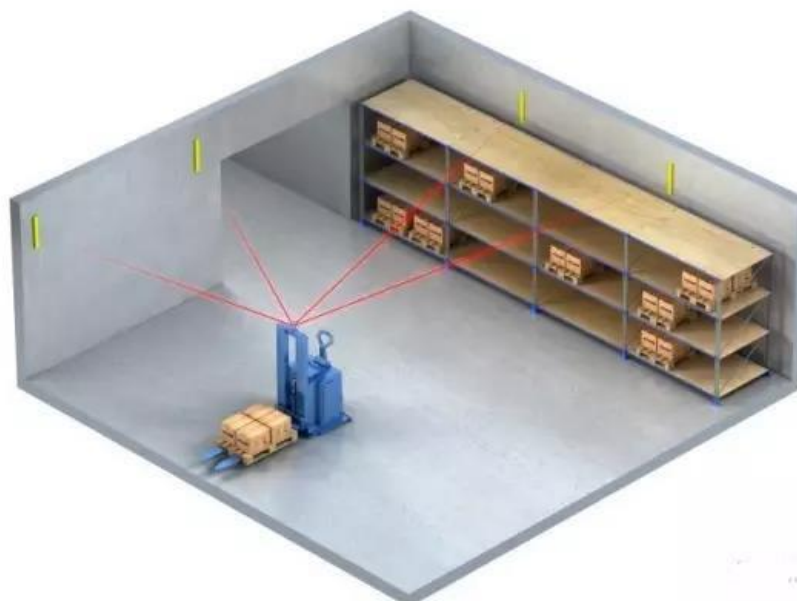


Рисунок 1.1 – Переміщення всередині виробничого простору

Під час пандемії 2020 року AGV набули популярності через вимоги соціального дистанціювання та сплеск електронної комерції. Підвищений попит призвів до розробки більш надійних і ефективних систем AGV. Заводи також запровадили AGV, щоб дотримуватися правил соціального дистанціювання під час переміщення продуктів, інструментів, обладнання та ресурсів.

У міру швидкого розвитку AGV зростає бездротове підключення, яке є важливим для їх роботи. AGV покладаються на міцне та надійне підключення, щоб забезпечити безперебійну та ефективну роботу під час руху.

Автоматизовані керовані транспортні засоби (AGV), також відомі як автоматизовані керовані візки (AGC), призначені для підйому вантажів шляхом під'їзду під кошик або візок і злегка їх піднімання (рис. 1.2). Ці AGV можуть автономно транспортувати та зберігати вантаж у місці призначення без ручного втручання. Вони зазвичай використовуються в лікарнях для доставки їжі, білизни та медичних товарів [13].



Рисунок 1.2 – Підйом вантажів шляхом під’їзду під кошик або візок

Наступний вид транспортних роботів це автоматизовані керовані транспортні засоби, що буксирують або буксирують, тягнуть некеровані транспортні засоби або причепи (рис. 1.3) [13].



Рисунок 1.3 – Автоматизовані керовані транспортні засоби, що буксирують

Оскільки їхнє перенесення вантажу не передбачає підйому, вони можуть працювати з кількома вантажами, на відміну від вилкових навантажувачів і автотранспортувачів AGV. Однак вони призначені виключно для транспортування і не можуть розміщувати вантажі на місці.

Транспортні засоби з автоматичним керуванням можуть бути використані для транспортування вантажів у одиницях або на палетах без підняття вантажу з підлоги. Завантаження та розвантаження зазвичай здійснюються за допомогою додаткового обладнання, наприклад конвеєрів, кранів або вилкових навантажувачів (1.4) [14].



Рисунок 1.4 – Транспортні роботи з роликівим завантажувачем

Модульні автоматизовані керовані транспортні засоби, також відомі як тунельні AGV, спеціально розроблені для транспортування вантажів до процесів складання (рис. 1.5) [14]. У контрольованому середовищі складання їхня навігація простіша та працює на менших швидкостях порівняно з іншими типами AGV. Ці транспортні засоби відрізняються високою маневреністю, що дозволяє їм легко встановлюватися на складальних станціях і орієнтуватися в них.



Рисунок 1.5 – Модульні автоматизовані керовані транспортні засоби

Модульні AGV перетягують супутню раму до призначеного місця висадки. Після прибуття AGV може пройти повз RFID-датчик, який запускає наступну дію робота. Порівняно з навантажувачами AGV модульні AGV є більш ефективними та рентабельними, оскільки їм потрібна лише супутня рама для доставки складальних частин або компонентів.

Міні-автоматизовані керовані транспортні засоби, також відомі як невеликі вантажопідійомники, призначені для транспортування невеликих частин або предметів і часто працюють групами (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Міні-автоматизовані керовані транспортні засоби

Зазвичай вони оснащені системою повного приводу, що забезпечує стабільність і мінімальний радіус повороту, що дозволяє їм рухатися швидко та

з високою гнучкістю. Ці AGV зазвичай використовуються в стелажних системах високої селективності.

Ножичні підйомники AGV – це ергономічний спосіб позиціонування великих виробів під час складання (рис. 1.7). Коли виріб надходить на робочу станцію, його піднімають або опускають так, що працівнику не потрібно тягнутися або нахилитися, щоб додати свою частину процесу складання. Ножичні підйомники AGV можуть піднімати одну або дві тони на висоту до 50 дюймів для зручного та легкого доступу.



Рисунок 1.7 – Ножичні підйомники AGV

Коли процес складання розподіляється між різними станціями в межах об'єкта, ножичний підйомник AGV можна запрограмувати на переміщення між цими станціями, незалежно від їх розташування.

Як і інші AGV, підйомники-ножиці також можна запрограмувати на пересування між цехами або доставку готових вузлів для зберігання чи транспортування. Ця можливість підвищує ефективність, скорочує час складання та допомагає запобігти травмам працівників під час підйому важких і транспортних завдань.

Кобот – це всебічний термін для колаборативного робота, який може безпечно працювати з людьми (рис. 1.8). У них є датчики чутливості, які контролюють їхні рухи. Якщо вони відчують перерву в своєму русі, вони зупиняються та переходять у безпечний режим, на відміну від звичайних роботів, які продовжують працювати та, можливо, травмують людей.



Рисунок 1.8 – Мобільний кобот

Інтеграція автоматизованих керованих транспортних засобів із колаборативними роботами (коботами) дозволяє їм вирішувати широкий спектр завдань. Використовуючи силу підйому коботів разом із мобільністю AGV, ця комбінація ефективно зменшує повторювані навантаження та зводить до мінімуму стрес працівників.

Основні переваги інтеграції AGV і коботів включають:

- зменшення часу простою – у минулому коботів потрібно було вимикати, щоб змінити їх положення. У поєднанні з AGV їх можна легко переміщати;
- швидке та просте програмування – замість того, щоб програмувати AGV та кобот окремо, їх можна програмувати разом;
- безпечніші умови праці – коботи AGV мають широкий асортимент камер і датчиків, що дає їм змогу безпечно працювати з людьми;

– гнучке застосування – до коботів AGV можна прикріпити різні інструменти, наприклад манипулятори роботів, полиці для підбирання, стелажі, підйомники для піддонів і конвеєри;

– підвищена продуктивність – як і в усіх роботизованих пристроях, додавання кобота AGV значно підвищує ефективність і продуктивність.

1.2 Аналіз методів застосування вбудованих роботів в технологічний процес забезпечення виробничої лінії засобами мікроелектроніки

Застосування роботизованих вбудованих засобів в технологічний процес виготовлення засобів мікроелектроніки особливо гостро постає в наш час. Основні труднощі полягають у точності позиціонування робота біля конвеєра або на ділянці сортування, синхронізації рухів манипулятора із технологічним обладнанням та забезпеченні надійного механізму передачі мікрорадіоелементів [16].

Задача складається з двох етапів:

– доставка радіоелементів до промислового обладнання за допомогою автономного транспортного робота;

– сортування та позиціонування мікроелементів в зоні дії промислового манипулятора для точного встановлення на друковану плату.

Для успішного приєднання роботів до конвеєра пристрій повинен точно підійти до визначеної позиції. Відхилення навіть на кілька сантиметрів можуть призвести до того, що радіоелементи не буде правильно завантажені. Проблеми з позиціонуванням можуть виникати через кілька факторів:

– якщо робот не має достатньо точних навігаційних систем або якщо сенсори дають похибки, може бути складно досягти ідеального позиціонування;

– якщо на виробництві виникають перешкоди або змінюється розташування обладнання, це може ускладнити підхід робота до конвеєра.

Ще однією проблемою є сумісність механізмів передачі вантажу між конвеєром і роботом. Для ефективної передачі продукції можуть використовуватися різні методи:

- робот повинен мати точний механізм для захоплення вантажу з конвеєра, наприклад, кран або роботизовану руку. Якщо зчеплення не спрацьовує належним чином, це може призвести до того, що вантаж не буде переданий або буде пошкоджений;

- якщо конвеєр автоматично переміщує вантаж на платформу робота, необхідна сумісність механізмів підйому або зсуву, щоб уникнути затримок і неточностей.

На великих підприємствах кілька автономних транспортних роботів можуть одночасно працювати в тій самій зоні з одним конвеєром або іншим обладнанням. У таких випадках виникає конфліктів у маршрутах. Якщо кілька роботів намагаються підійти до одного й того ж конвеєра для отримання або передачі вантажу, можуть виникнути затримки або навіть зіткнення. Роботи повинні бути правильно запрограмовані на отримання вантажу відповідно до свого часу або в порядку черги, щоб уникнути простоїв.

Якщо стикування робота з конвеєром або іншим обладнанням виконується недостатньо швидко, це може створити затримки у виробничому процесі. Важливо, щоб передача вантажу була не лише точною, але й швидкою, інакше виникають ризики:

- якщо робот не встигає забирати продукцію, конвеєр може переповнитися, що призведе до зупинки виробничої лінії;

- якщо робот не отримує продукцію вчасно, його простої знижують ефективність всієї системи.

Проблеми стикування можуть значно уповільнити процес передачі продукції, що призводить до простоїв на конвеєрі або у самого робота. Це негативно впливає на загальну продуктивність виробництва, оскільки порушується потік матеріалів або готової продукції між різними частинами виробничої системи.

Якщо робот не правильно позиціонується або передача вантажу відбувається некоректно, продукція може бути пошкоджена. Це особливо актуально для делікатних або дорогих матеріалів. Невідповідність у роботі обладнання та робота може призвести до втрати якості продукції.

Для того, щоб уникнути проблем стикування, необхідно більш ретельно налаштовувати систему управління як роботом, так і конвеєром. Потрібна постійна оптимізація алгоритмів, використання високоточних датчиків позиціонування та інтеграція з іншими системами автоматизації для моніторингу і коригування роботи в реальному часі.

Використання сучасних датчиків (наприклад, лідарів, камер, ультразвукових сенсорів) та алгоритмів навігації дозволить роботу більш точно визначати своє положення і підходити до конвеєра.

Автономний робот повинен бути повністю інтегрований із системами управління виробництвом (MES, SCADA), щоб забезпечити узгодженість між його роботою і роботою конвеєра. Це дозволить синхронізувати час підходу робота до обладнання з моментом готовності вантажу.

Алгоритми, що керують роботом, повинні мати можливість швидко адаптуватися до змін у виробничому процесі або оточенні, щоб мінімізувати вплив несподіваних перешкод або затримок на роботу системи.

Розробка додаткових механізмів, які автоматично коригують позицію робота біля конвеєра або вирівнюють його, забезпечить безперебійну передачу продукції навіть за умови незначних помилок у позиціонуванні.

1.3 Система позиціонування автономних транспортних роботів

Однією з ключових складових системи AGV є навігаційна система, яка дозволяє роботу орієнтуватися та виконувати свої завдання з високою точністю. Існує кілька типів навігаційних систем, до яких також додаються сучасні інноваційні рішення, спрямовані на підвищення точності та

продуктивності. Незалежно від типу навігаційної системи, вона відповідає за визначення місцезнаходження AGV та його пересування в оточенні.

У світі індустрії 4.0 із постійно зростаючими вимогами та високими стандартами продуктивності унікальна технологія Asserion виділяється високою точністю позиціонування, масштабованістю та гнучкістю [6].

Asserion надає технологію та системи позиціонування для сектору автономних мобільних роботів. Asserion розробила перші системи позиціонування, на 100% вільні від інфраструктури, із субміліметровою точністю для мобільних роботів і автоматизованих транспортних засобів.

Поточні програми зосереджені на складських і виробничих секторах, але технологія Asserion є універсальною. Мета компанії зробити мобільних роботів і автоматизовані керовані транспортні засоби на 100% автономними та незалежними від інфраструктури та працювати з високою точністю в гнучкому динамічному середовищі.

Технологія позиціонування працює за допомогою датчика (рис. 1.9). Цей датчик позиціонування здатний легко і точно визначити місцезнаходження автономного мобільного робота. Це особливо важливо для складської логістики та автоматизації виробництва. Даний вдосконалений датчик позиціонування дозволяє мобільним роботам та іншим промисловим транспортним засобам виконувати точну роботу автономно [17].



Рисунок 1.9 – Датчик системи позиціонування від Asserion

Датчик позиціонування дивиться прямо на підлогу та вимірює чисте переміщення, дозволяючи мобільним роботам і AGV рухатися з субміліметровою точністю та з більшою швидкістю.

Жодна з систем на AGV не функціонує ізольовано. Усі компоненти тісно взаємодіють між собою для забезпечення максимально ефективної роботи транспортного робота. Це включає взаємодію навігаційної системи з системами безпеки та управління. Основною частиною навігаційної системи є датчики, розташовані на зовнішній частині AGV.

Навігаційні системи можна поділити на два основних типи:

- з фіксованим маршрутом;
- з вільним переміщенням.

Системи з фіксованим маршрутом використовують проводи, стрічки або сенсори, встановлені на стінах. Їх маршрут чітко визначений, щоб уникнути перешкод з боку транспортних засобів або людей. Натомість, системи з вільним переміщенням мають попередньо запрограмовані маршрути, які не потребують зовнішніх орієнтирів. Вони здатні самостійно коригувати шлях, щоб уникнути зіткнень і перешкод, не заважаючи виконанню завдання. Встановлення таких систем не вимагає суттєвих змін у робочому середовищі.

Для виконання задач з позиціонування транспортних роботів використовуються різні типи датчиків.

Магнітні датчики – одна з найстаріших технологій, що використовує магнітну стрічку, розміщену на підлозі, за якою рухається AGV. Регулювання магнітних датчиків можливе шляхом зміни положення стрічки;

Датчики LiDAR – ці датчики забезпечують складніші можливості навігації, дозволяючи роботу вільно пересуватися та виявляти перешкоди для локалізації (рис. 1.10) [18].

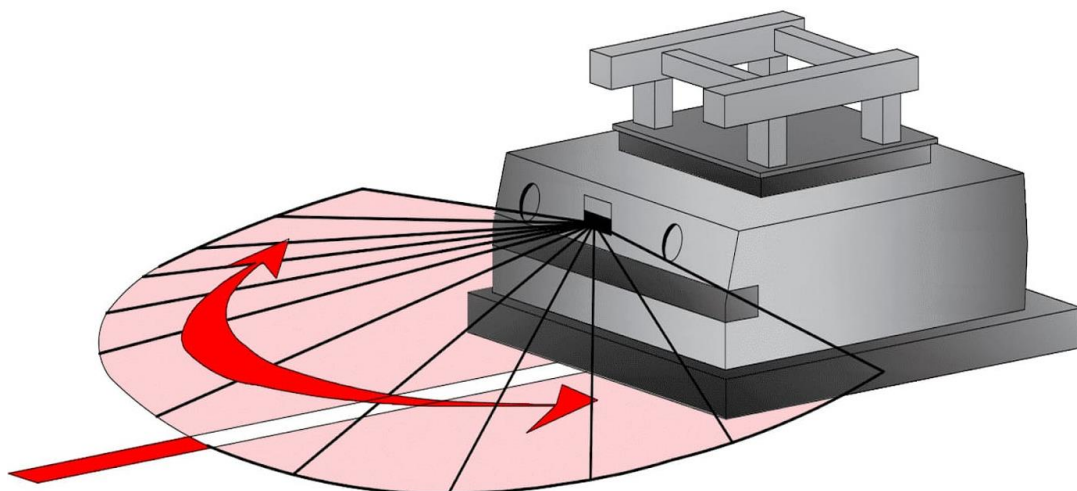


Рисунок 1.10 – Використання LIDAR для позиціонування

Оптичні датчики функціонують як «очі» AGV, використовуючи системи розпізнавання зору для виявлення орієнтирів і оточення за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке визначає місцезнаходження транспортного робота (рис. 1.11).

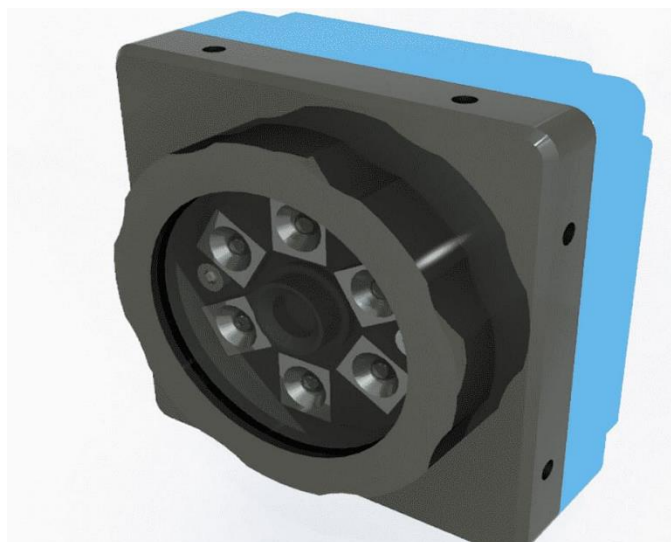


Рисунок 1.11 – Оптичний сенсор

Датчики інерційних вимірювальних одиниць (IMU) використовують акселерометр для вимірювання швидкості та гіроскоп для визначення кутової швидкості (рис. 1.12). Дані, зібрані IMU, дозволяють розраховувати положення та траєкторію руху AGV.

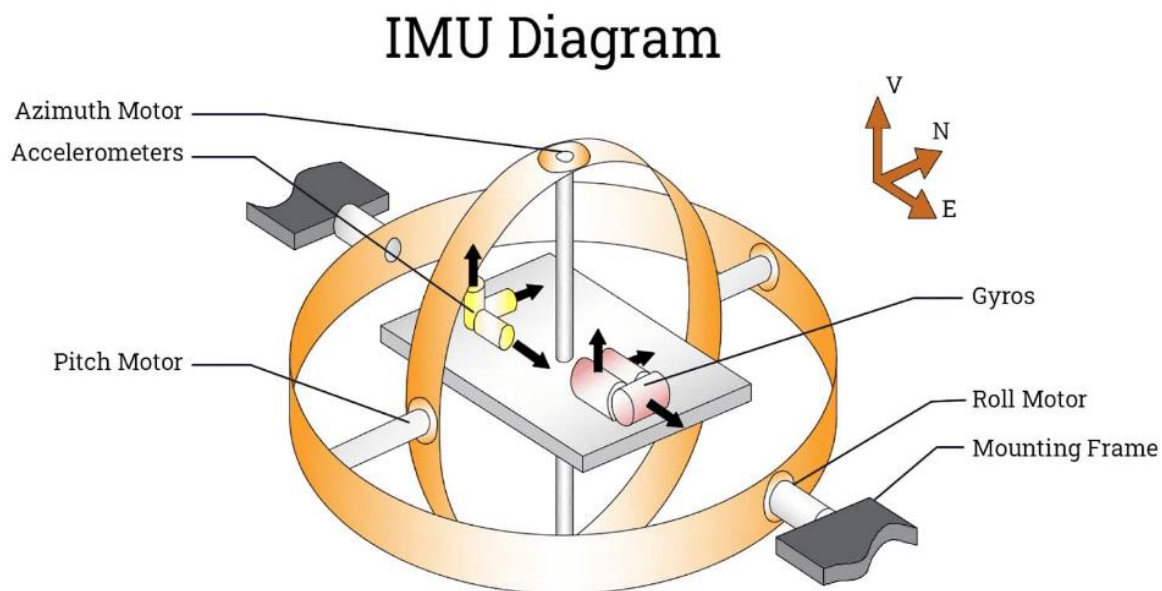


Рисунок 1.12 – Датчики інерційних вимірювальних одиниць

Транспортні засоби з лазерним наведенням здатні самостійно рухатися, керувати логістичними процесами та підвищувати ефективність роботи. Їхня навігація здійснюється за допомогою лазерної системи позиціонування, що працює разом з бортовим комп'ютером для визначення оптимальної швидкості та місцезнаходження. Лазер сканує відбивачі, обчислюючи їхнє положення та кути, і цей процес повторюється кілька разів на секунду.

У транспортних засобах LGV використовуються двовимірні лазерні випромінювачі, які генерують постійний промінь світла на 360°. Промінь, що відбивається від рефлектора, допомагає точно визначити координати X та Y рефлектора й самого транспортного засобу (рис. 1.13).

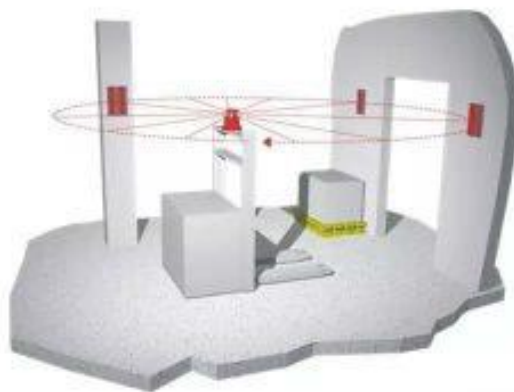


Рисунок 1.13 – Навігація з використанням рефлекторів

Як і в інших навігаційних системах, для точного визначення місцезнаходження LGV використовуються три контрольні точки. Точність системи становить ± 10 мм, коли використовуються чотири рефлектори, розташовані в радіусі 8 метрів. Асиметричне розташування рефлекторів або цілей допомагає в досягненні високої точності позиціонування, яке обчислюється кілька десятків разів на секунду. Рефлектори дозволяють системі автоматично перемикатися між автоматичним та ручним режимом під час руху по маршруту. Складні траєкторії поділяються на кілька зон або шарів, причому маршрут може мати до 200 шарів.

Рефлектори для AGV можуть бути плоскими або циліндричними. Плоскі рефлектори зазвичай є дешевшими, оскільки це світловідбивні стрічки, які легко встановлюються та замінюються. Циліндричні рефлектори потребують більш складного розрахунку для точної установки, а їх монтаж є більш трудомістким. Основною перевагою рефлекторних систем є точність позиціонування транспортного засобу. Окрім цього, AGV здатні пересуватися зі швидкістю до 2 метрів за секунду, що підвищує продуктивність роботи.

Датчики на основі маяків використовують відому фіксовану опорну точку або рамку для визначення положення та орієнтації робота (рис. 1.14). Наприклад, глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) використовує електронний приймач, який отримує орбітальні дані від трьох або більше

супутників. Порівнюючи ці дані з вимірюваннями часу польоту, система обчислює положення та орієнтацію робота.

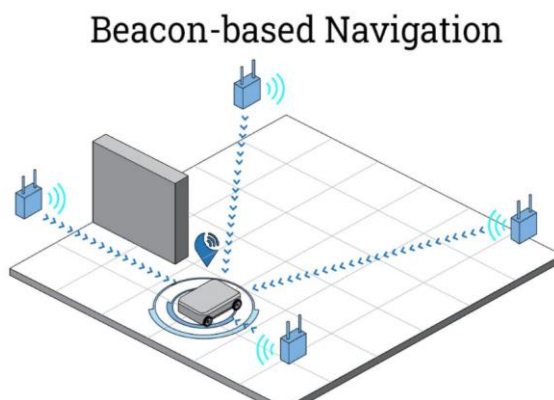


Рисунок 1.14 – Датчики позиціонування AGV на основі маяків

Активні датчики дальності здатні як передавати, так і приймати сигнали (рис. 1.15).

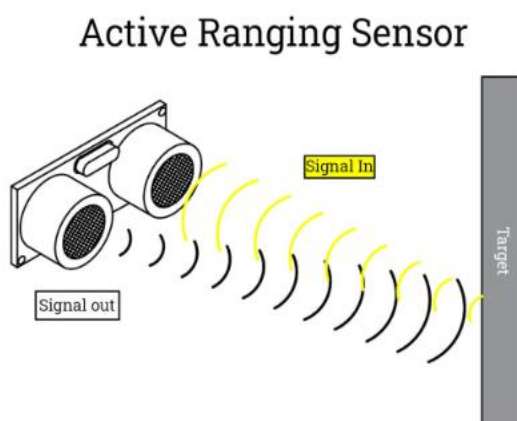


Рисунок 1.15 – Активні датчики дальності

Вони випромінюють сигнал до об'єкта або контрольної точки, який відбивається назад до датчика. Повернений сигнал потім вимірюється та аналізується з використанням таких понять, як відбивна здатність, час польоту та триангуляція. Приклади активних датчиків дальності включають лідар, радар і гідролокатор.

Після збору інформації з навколишнього середовища або фіксованої системи відліку робот обробляє ці дані, щоб визначити своє положення та орієнтацію відносно оточення за допомогою процесу, який називається локалізацією. Положення й орієнтацію робота можна встановити за допомогою одометрії (мертвого рахунку) або триангуляції за фіксованими контрольними точками. Однак ці методи часто не дають результатів, коли потрібна висока точність.

Середовище часто містить невідомі перешкоди та динамічні обмеження, тоді як датчики та ефектори можуть мати проблеми з точністю. Щоб досягти повної автономності та переходу до наступних кроків навігації, робот використовує відображення для створення моделі середовища. Ця модель допомагає роботу визначити своє місцезнаходження, орієнтацію та цілі, а також дозволяє оновлювати в реальному часі в процесі, відомому як одночасна локалізація та відображення (SLAM) (рис. 1.16) [19].

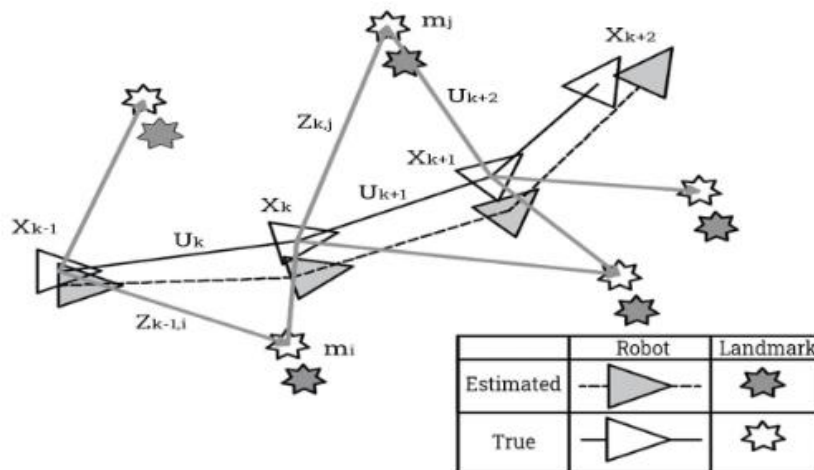


Рисунок 1.16 – Метод SLAM

Планування шляху для стикування з робочим органом виробничого обладнання передбачає визначення послідовності дій, необхідних для досягнення роботом місця призначення [7]. Цей когнітивний процес передбачає

аналіз карти навколишнього середовища та створення програми або набору інструкцій (рис. 1.17).

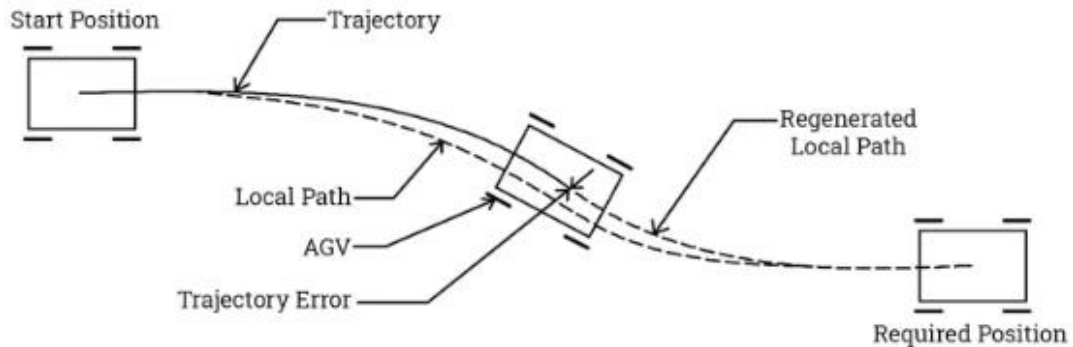


Рисунок 1.17 – Планування шляху для стикування з робочим органом виробничого обладнання

Якщо в навколишньому середовищі відбуваються зміни, робот повинен виявити ці зміни та відповідно скоригувати свої дії. Крім того, планування шляху передбачає не лише пошук маршруту до цільового місця, але й його оптимізацію шляхом мінімізації довжини шляху та уникнення перешкод.

Планування шляху включає чотири ключові поняття: геометрію робота, ступені свободи його ефекторів, карту середовища, а також початкову та цільову конфігурації. Для планування шляху робота ці концепції переведено в так званий простір конфігурації. У цьому просторі представлені як можливі конфігурації робота, так і простір, зайнятий перешкодами. Робот моделюється як точка, визначена векторами координат, а не як тверде тіло. Отже, перешкоди фактично «роздуваються» розміром робота, щоб врахувати його розміри. Розуміючи можливі конфігурації всіх об'єктів на карті, траєкторію робота можна визначити як безперервну криву або шлях.

Управління рухом передбачає виконання роботом запланованих або запрограмованих дій шляхом надсилання вхідних сигналів його драйверам, приводам і виконавцям. Для мобільних роботів система управління зазвичай є замкнутою системою (рис. 1.18).

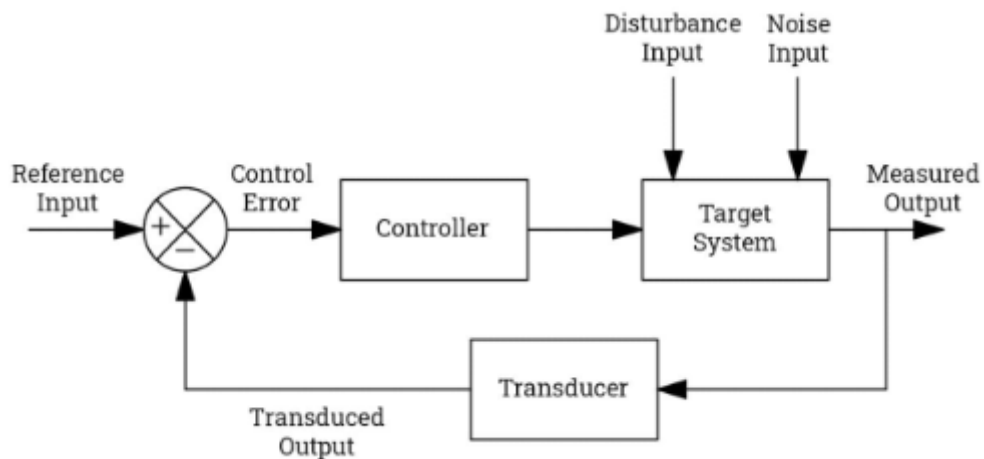


Рисунок 1.18 – Замкнена система управління мобільним роботом

Найпоширенішим замкнутим циклом керування в робототехніці є пропорційно-інтегрально-похідна (PID) керування, тип керування зі зворотним зв'язком. Цей механізм зворотного зв'язку дозволяє роботу виправляти відхилення або помилки у своїй траєкторії шляхом постійного моніторингу як внутрішніх, так і зовнішніх параметрів. ПІД-регулятор математично обчислює сигнал помилки та регулює пропорційні, інтегральні та похідні підсилення, щоб швидко мінімізувати помилки, зберігаючи при цьому стабільність і уникаючи перегулювання.

1.4 Висновки до першого розділу

В результаті виконання даного розділу роботи виконано аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів у виробничому процесі. Описані різні типи автономних транспортних роботів.

Проведено аналіз проблеми поєднання автономного транспортного робота з промисловим обладнанням. Описані системи позиціонування автономних транспортних роботів та наведено опис різних типів датчиків, що використовуються для вирішення даної задачі.

2 МЕТОДИ СОРТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВБУДОВАНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

2.1 Автоматизовані пристрої для автоматичного орієнтування компонентів мікроелектроніки

В автоматичних пристроях сортування та завантаження деталей велику увагу приділяють транспортним операціям. Це з тим, що з автоматизації завантажувальних операцій деталі слід як орієнтувати, а й подати робочу позицію автоматичного верстата чи інший робочої машини у необхідному становищі, тобто. у процесі завантаження необхідно переміщати деталь, не порушуючи наданої їй орієнтації (чи іноді змінювати одне орієнтоване становище інше). При цьому для переміщення виробів використовуються три типи сил: сила тяжіння, зовнішня прикладена сила та сила інерції.

Залежно від застосування тієї чи іншої сили або комбінації їх розрізняють три види транспортування виробів:

- самопливне під дією сили тяжіння;
- примусове під дією прикладеної зовнішньої сили;
- вібраційне, під дією інерційних сил.

Самопливне транспортування вимагає ні джерела енергії, ні двигуна, ні спеціальних механізмів і тому знаходить велике застосування. Однак його застосування обмежується тим, що переміщення виробів відбувається з прискоренням і часто швидкості бувають настільки великі, що виявляються небезпечними для виробів. Крім того, самопливний транспорт можна використовувати лише у разі переміщень зверху донизу.

Самопливний спосіб транспортування дещо покращується при коливаннях, перпендикулярних до напрямку руху. Швидкість ковзання при цьому можна регулювати частотою коливань, а сам рух може здійснюватися

при нахилах значно менших від кута тертя. Установки для такого напівсамотечного руху відносно нескладні та займають по висоті менше місця.

Примусовий транспорт дозволяє переміщати об'єкти у будь-якому напрямку рівномірно, прискорено, уповільнено тощо.

Вібраційний транспорт є певною мірою проміжним між самопливним та примусовим. Так як вироби рухаються силами інерції, а не направляються жорсткими штовхачами, що супроводжують виріб, то рух може зупинитися і чекати, поки звільниться місце для виробів, що транспортуються, як це має місце в самопливному транспорті. Вироби можна переміщати під дуже невеликим кутом вниз, горизонтально і навіть під невеликим кутом вгору, тобто так, як це дозволяє примусове транспортування. Крім того, на вібраційному транспорті зручно здійснювати орієнтування виробів складної форми.

Завантажувальні пристрої можуть складатися з одних лотків, в яких вироби переміщаються самопливом безпосередньо в зону обробки. При деякому ускладненні до лоткових магазинів (рис. 2.1, а) додають живильник П, що діє синхронно з іншими виконавчими органами верстата, тобто пов'язаний з робочим циклом верстата. Цей живильник вибирає з вихідного отвору лотка по одній заготовці та подає її в зону обробки.

Для збільшення ємності лотку надають форму зигзагу, спіралі тощо. В результаті прагнення ще більше збільшити ємність виникли так звані ящично-магазинні завантажувальні пристрої, що складаються з магазину М і лотка Л (рис. 2.1, б). Слід мати на увазі, що збільшення обсягу ємності обмежується виникненням надмірного тиску верхніх шарів деталей на нижні, що веде до свідоутворення, що ускладнює видачу виробів. Цей тип пристроїв який завжди задовольняє вимогам практики, оскільки у його ємність вироби укладаються в орієнтованому положенні.

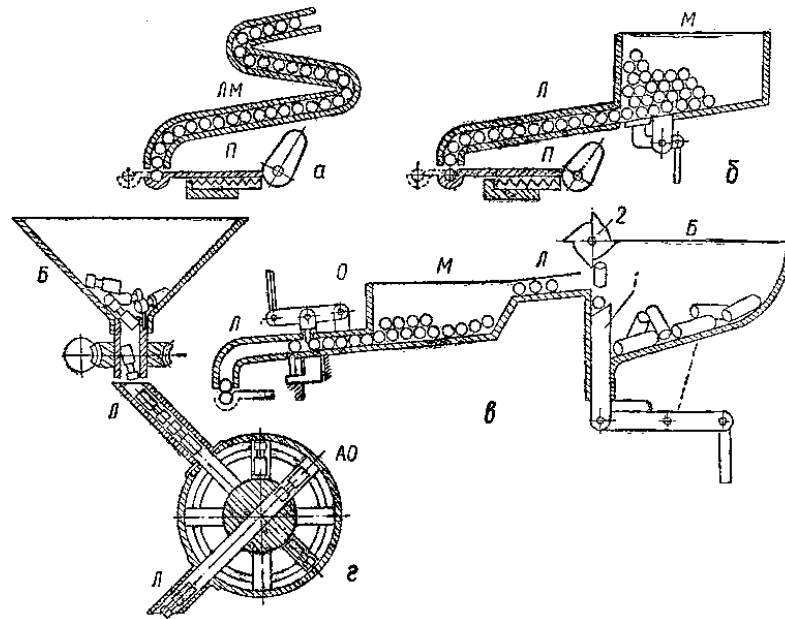


Рисунок 2.1 – Різновиди завантажувальних пристроїв [20]

У бункерні завантажувального пристрою мікрорадіоелементи потрапляють в неорієнтованому положенні – навалом (рис. 2.1, в). Місткість цих пристроїв прийнято називати бункером Б, звідки і виникла назва пристроїв.

Бункерні завантажувально-орієнтуючі пристрої (БЗОП) виконують значно складніші функції, ніж магазинні. Ці пристрої мають захоплюючі та орієнтуючі механізми, які вибирають із загального навалу вироби і видають їх в одному або кількох певних положеннях на транспортний пристрій, що є переважно лоток. Таким чином, бункерні завантажувальні пристрої, на відміну від магазинних, несуть функції орієнтування. У пристрої, показаному на рис. 2.1, ножовий штовхач 1 вибирає з навалу і піднімає деталі в орієнтованому положенні, а скидник 2 зіштовхує з штовхача 1 зайві або неправильно орієнтовані вироби.

Слід пам'ятати, що БЗОП мають непостійну продуктивність, дещо коливається у часі. Так, наприклад, при кожному ході штовхач може піднімати різну кількість деталей. Для того щоб компенсувати коливання продуктивності бункера при постійній продуктивності верстата, що ним обслуговується, необхідно мати накопичений запас деталей. Деталі накопичуються в магазині А1 і їх запас відіграє роль свого роду акумулятора: в період зниженої

продуктивності бункера деталі подаються в верстат за рахунок витрачання запасу в магазині, який поповнюється в період підвищеної продуктивності бункера. Часто роль магазину грає звичайний лоток і спеціального ящичного магазину А1 робити не потрібно.

Деталі видаються з БЗОП за допомогою відсікача О, який працює за циклом, що диктується верстатом, або за допомогою живильного механізму. У деяких, досить рідкісних випадках, необхідно застосовувати як відсікач, так і живильник (живильник на рис. 2.1, показаний пунктиром).

Автоматичне орієнтування складних форм деталей повністю здійснити в бункері зазвичай не вдається. Так, наприклад, деталі у вигляді валиків з несиметрично розташованою проточкою можуть виходити з бункера проточкою вперед або проточкою назад, тобто у двох можливих положеннях. У бункері лише зменшується кількість можливих положень, або, як то кажуть, деталям надається первинне орієнтування. У таких випадках необхідно додатково зробити в спеціальних пристроях вторинне орієнтування, після якого деталі рухаються до робочої зони тільки в одному визначеному положенні. У наведеному на рис. 2.1, г пристрої є спеціальний механізм автоматичної орієнтації АТ, що остаточно орієнтує всі деталі проточкою вперед.

Таким чином, бункерний завантажувально-орієнтуючий пристрій є групою механізмів, що приймають деталі навалом і подають їх до робочої зони машини строго орієнтованими в просторі та в часі.

На практиці всі описані типи завантажувальних пристроїв не виживають один одного, тому що кожен з них має свої переваги та недоліки. Іноді окремі типи пристроїв комбінуються один з одним, наприклад, бункерний з магазинним (рис. 2.1, в).

Незважаючи на те, що БЗОП є найбільш досконалими пристроями і мають найвищий ступінь автоматизації, вони все ж таки не можуть застосовуватися у всіх випадках. Часто перешкодою до їх застосування є громіздкість пристрою, крихкість, ажурність виробів та схильність їх до стеження та зчеплення.

Ознайомлення з різними типами завантажувальних пристроїв дозволяє зробити висновок, що вони складаються з наступних цільових механізмів: бункерів, лотків, магазинів, відсікачів, живильників та автоматичних пристроїв, що орієнтують (для вторинного орієнтування).

Своєрідність роботи бункера полягає в тому, що майже всі відомі робочі механізми завантажуються сировиною або напівфабрикатами в певному положенні; в бункер деталі засипаються навалом і займають у ньому довільні положення. Мета застосування бункера – вибрати з навалу по одній деталі і надати первинну орієнтацію. Бункер видає деталі неритмічно через різні проміжки часу. Однак у певні відрізки часу продуктивність бункера вважатимуться приблизно постійної, тобто. бункер має деяку середню продуктивність. Для деталей порівняно простих форм первинна орієнтація в бункері є достатньою, всі деталі виходять з бункера в одному певному положенні та вторинного орієнтування в спеціальних пристроях, що орієнтують, не вимагають.

Винесення деталей з навалу може здійснюватися примусово спеціальними механізмами по одній або кілька штук з одночасним наданням первинної орієнтації (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Способи винесення деталей з навалу

Спосіб вносу	Примусово спеціальними механізмами				Параметрично		
	Поштучно		Партіями		Безперервним потоком		
	Карманом	Крючком	Лотком	Лопаттю	Власною вагою	Силою тертя	Силою інерції
Тип бункера	Кишеньковий	Крючковий, штирбовий	Секторний, ножевий, дисковий	Лопатевий, щілинний, барабанний	Трубчастий	Фрикційонний	Вібраційний

Примусове винесення виконується кишнями, гачками, лотками або лопатями. Застосування тих чи інших пристроїв для винесення деталей із навалу визначає тип бункера.

Параметрично, тобто без механізмів, винесення та первинне орієнтування деталей у бункерах можна здійснювати, використовуючи власну вагу деталей, сили тертя між деталями та робочими поверхнями бункера або за допомогою сил інерції, що виникають в результаті повідомлення робочим поверхням бункера коливального (вібраційного) руху .

Магазини накопичують та зберігають деталі в орієнтованому положенні.

Лотки здійснюють переважно транспортні операції з переміщення деталей між цільовими механізмами БЗОП або до робочих органів машин. У деяких випадках вони одночасно грають роль магазину, інколи ж використовуються також для вторинного орієнтування.

Відсікачі та живильні пристрої працюють синхронно з робочими органами машин, подаючи деталі до робочих органів у певні періоди робочого циклу, тобто орієнтують деталі у часі.

Пристрої автоматичного орієнтування здійснюють, як зазначалося, вторинне орієнтування деталей складних форм.

2.2 Автоматичне орієнтування елементів мікроелектроніки

При автоматизації процесів встановлення елементів на друковану плату, операцій контролю та складання в більшості випадків необхідно подати деталь на робочу позицію у строго орієнтованому положенні. Найбільш важливо і важко це при автоматизації процесів збирання, оскільки форми заготовок деталей перед обробкою простіші, ніж у готових деталей перед збиранням. Крім того, при автоматизації складання доводиться іноді подавати у зібраному стані цілі вузли, які також вимагають орієнтації.

Автоматичне орієнтування здійснюється часто важко і служить перешкодою до комплексного вирішення завдань автоматизації процесів виробництва. Існують цілі галузі виробництва, які автоматизовані лише частично через те, що не вирішено питання автоматичного орієнтування. Тому багато робочих машин та системи машин (автоматичні лінії) мають ручне завантаження або в кращому випадку виконані так, щоб не втрачати одного разу приданої виробу орієнтації.

Під автоматичним орієнтуванням мається на увазі процес, протягом якого деталі без участі людини наводяться з хаотичного стану в певне положення щодо деяких поверхонь.

Як відомо, кожне вільне тверде тіло має шість ступенів свободи, тобто можливість поступального переміщення вдовж і обертання навколо трьох взаємно перпендикулярних осей. Для здійснення транспортного переміщення в орієнтованому стані деталь повинна мати одну ступінь волі. Отже, при орієнтуванні в завантажувальних та транспортних пристроях деталь позбавляється п'яти ступенів волі. Тіла обертання переважно достатньо позбавити лише чотирьох ступенів свободи, залишаючи їм, крім можливості переміщення в одному напрямку, свободу обертання навколо осі. Останнім ступенем свободи деталі позбавляються при залишковому встановленні в робочій зоні машини.

2.3 Аналіз механізмів завантажувальних пристроїв

В автоматичних завантажувальних та міжопераційних транспортних пристроях деталі найчастіше переміщуються під дією власної ваги. Однак останнім часом для транспортування починають широко використовувати сили інерції (вібрація), за допомогою яких деталі можна переміщати горизонтально або навіть під невеликим кутом.

Під дією власної ваги деталі переміщуються по лотках коченням або ковзанням, відповідно до чого і розрізняють два види лотків: скати та склизи.

Перетин лотка залежить від форми деталі та від способу орієнтування її в лотку.

Магазинні пристрої не є повністю автоматичними, тому що в функцію робітника входить завантаження магазину деталями в строго орієнтованому положенні, що іноді потребує значної витрати праці.

Магазини бувають лоткові, ящикові та поворотні.

Лоткові магазини є заповнені деталями лотки, якими деталі під впливом власної ваги чи зовнішньої сили переміщуються до живильнику. Для збільшення ємності лотки часто виконують криволінійними чи спіральними.

Одним із найважливіших питань, пов'язаних із застосуванням магазинних завантажувальних пристроїв, є розміщення їх на верстаті.

Існує кілька схем розташування магазину, лотка та живильного механізму (завантажувача) по відношенню до робочого шпинделя в верстатах, що мають вільний простір для їх розміщення зверху або ззаду верстата (рис. 2.2) [21].

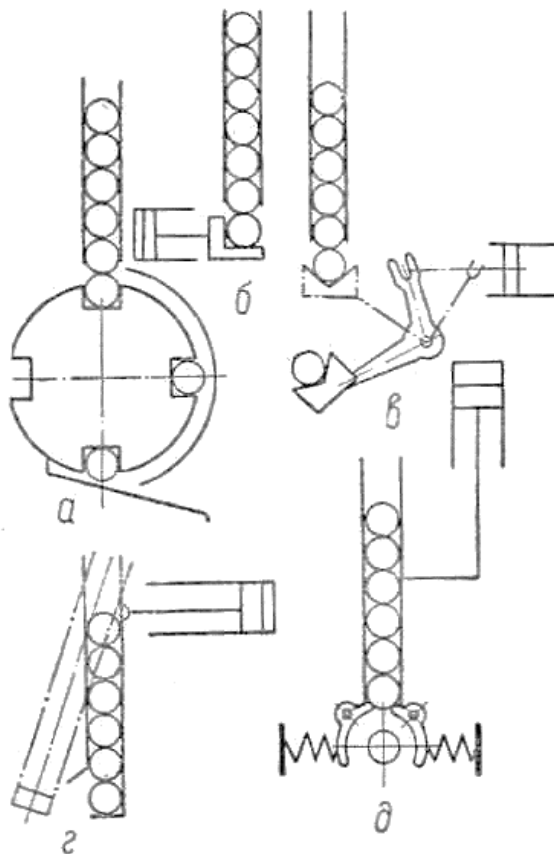


Рисунок 2.2 – Способи розташування лоткових магазинів на верстаті

Завантажувальний пристрій на рис. 2.2, а виконано у вигляді диска, що обертається, який переносить у своїх гніздах деталь з нижнього кінця лотка на лінію центрів і далі в положення видалення зі верстата. При своєму обертанні диск виконує роль як транспортуючого пристрою, а й живильника, оскільки верхня поверхню диска служить опорою для деталей, що у лотку. Тому весь пристрій виходить дуже простим. Основний недолік такої системи полягає в тому, що передавальний та завантажувальний механізми завжди залишаються і робочому просторі верстата, схильні до засмічення.

Застосовуючи транспортний механізм, що горизонтально переміщається (рис. 2.2, б), що передає деталь з лотка на лінію центрів верстата, можна також обійтися без спеціального відсікача.

На рис. 2.2, показано завантажувальний пристрій важільного коливається типу, що передає деталь на лінію центрів з магазину, розташованого зверху або збоку. Цей механізм вимагає наявності відсікача.

Загальним недоліком розглянутих пристроїв є необхідність у вільних секторах робочого простору вгорі та ззаду верстата.

Для верстатів, що мають вільним лише верхній сектор, доцільно використовувати механізм з лотком, що коливається, який дещо зміщений від осі центрів (рис. 2.2, г). При завантаженні лоток здійснює поворот таким чином, що вісь нижньої деталі виявляється поєднаною з лінією центрів; деталь при цьому закріплюється затискним пристроєм верстата. Лоток повертається у вихідне положення, а деталь залишається лінії центрів.

На рис. 2.2, д показаний варіант вертикального переміщення лотка, з пружинними підтримуючими пристроями, що виконують також роль відсікача.

Якщо за умов обробки лоток не можна розташувати похило під кутом, достатнім для транспортування деталей власною вагою, для переміщення деталей до живильника використовують вантаж або двигун.

Усередині магазину встановлюється ворошитель у вигляді важеля 4, що коливається, або обертового кола з уступом; такий ворошитель руйнує склепіння над отвором лотка (рис. 2.3, а).

Усередині бункера ставлять перегородку, що гойдається, так званий розвантажувальний конус 2; поперечний переріз має форму ромба (показаний пунктиром на рис. 2.3, б). Він призначений для руйнування склепінь, які іноді утворюються не над вихідним отвором, а вище у середній частині магазину.

При конструюванні ящиків магазинів слід враховувати явище зависання деталей, що супроводжується зводоутворенням.

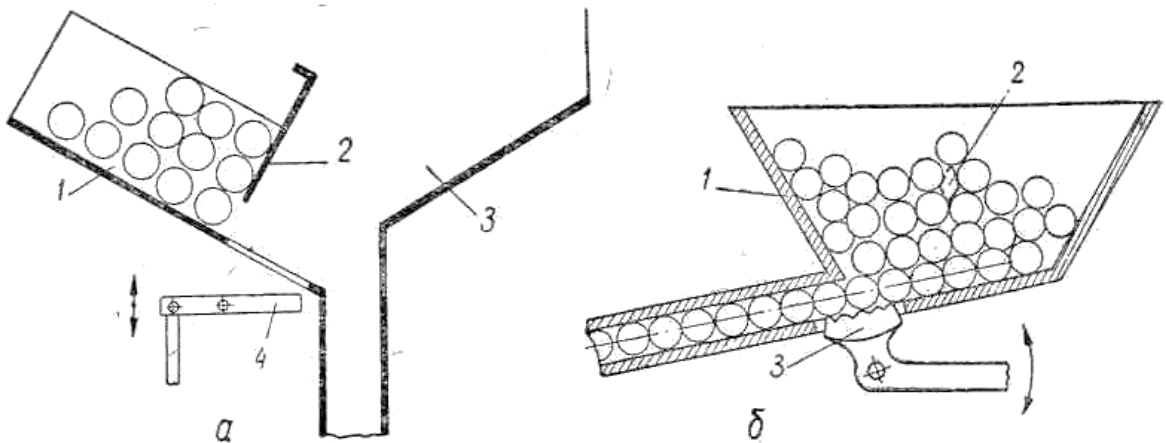


Рисунок 2.3 – Скринькові магазини

У дні магазину робиться великий отвір, куди входить важіль 3, що коливається (рис. 2.3, б); на важіль укладаються дві чи три деталі. При качательном русі важеля 3 деталі розташовані на ньому і поблизу нього, починають рухатися і перешкоджають утворенню склепінь.

Для швидкості завантаження магазину деталями застосовують звані касети 1 (рис. 2.3, а), які заповнюються поза магазином. При закладанні касети 1 магазин і відкриванні заслінки 2 деталі пересипаються з касети магазин, не втрачаючи орієнтації.

2.4 Висновки до другого розділу

В результаті виконання даного розділу було проведено аналіз методів застосування вбудованих роботів в технологічний процес забезпечення виробничої лінії засобами мікроелектроніки. Розглянуті системи позиціонування автономних транспортних роботів.

Виконано аналіз принципів сортування деталей мікроелектроніки з використанням вбудованого робототехнічного засобу. Розглянуті бункерні завантажувально-орієнтуючі пристрої, способи автоматичного живлення та орієнтування. Розглянуті принципи автоматичного орієнтування елементів мікроелектроніки в пристрої сортування.

3 РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка функціональної схеми

На рисунку 3.1 наведено функціональну схему автоматизованої системи.

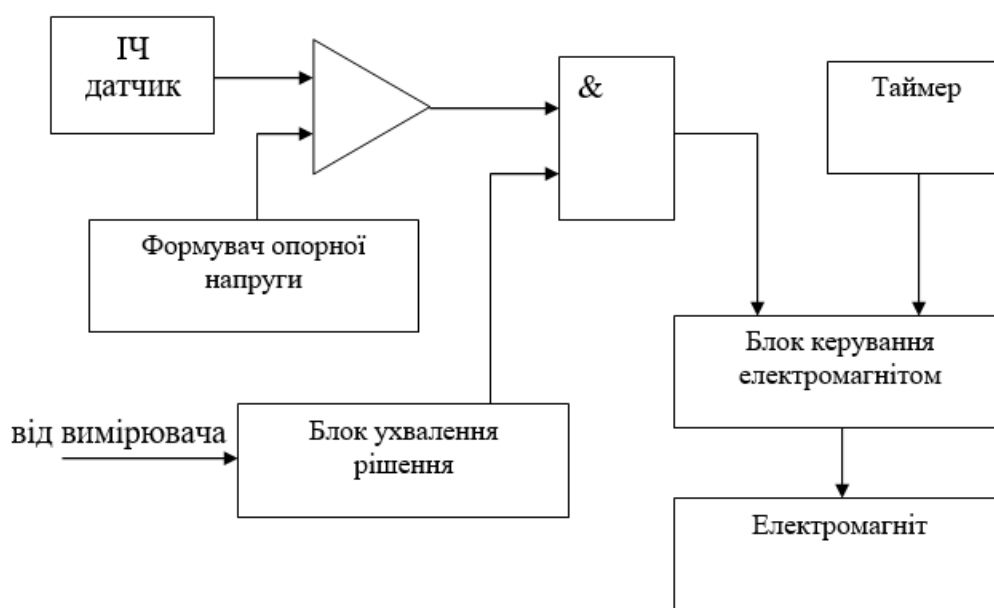


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизованої системи

З наведеної схеми видно, що автоматизована системи, що розробляється, обробляє сигнали від ІЧ датчика наявності SMD компонента в області вимірювання та інформацію, що надходить від вимірювача опору.

Дозвіл на роботу всього модуля дає блок прийняття рішень на основі даних, отриманих з модуля вимірювання. SMD компонент надходить в область вимірювань під дією вібраційних впливів, що надаються допоміжним двигуном (на цій схемі не показано).

Після визначення наявності SMD компонента повинен увімкнутися електромагніт, який притисне вимірювальні щупи до компонента на час T , що визначається таймером.

За цей час модуль вимірювань повинен зробити необхідні обчислення та визначити номінал деталі. залежно від цього значення буде проведено переміщення компонента у відповідну комірку накопичувача. Цю операцію виконує інший модуль – модуль транспортування компонентів.

3.2 Розробка структурної схеми автоматизованої системи

На рисунку 3.2 наведено структурну схему макета.

На наведеному рисунку видно, що система буде складатися з п'яти основних блоків:

- датчик наявності SMD компонента;
- мікроконтролер;
- блок керування електромагнітом;
- блок керування двигуном;
- перетворювач інтерфейсу.

Мікроконтролер буде поєднувати функції блоку прийняття рішення, таймера, компаратора і суматора. В якості датчика наявності SMD компонента необхідно вибрати оптичну пару – ІЧ світлодіод і фотодіод.

Блок керування двигуном вбудованого робототехнічного маніпулятора необхідний для узгодження напруги живлення двигуном з низьковольтною напругою на виході мікроконтролера. Зазвичай як такий елемент виступає потужний польовий або біполярний транзистор, включений за ключовою схемою.

Блок управління електромагнітом виконує аналогічне завдання і має схоже схематичне рішення.

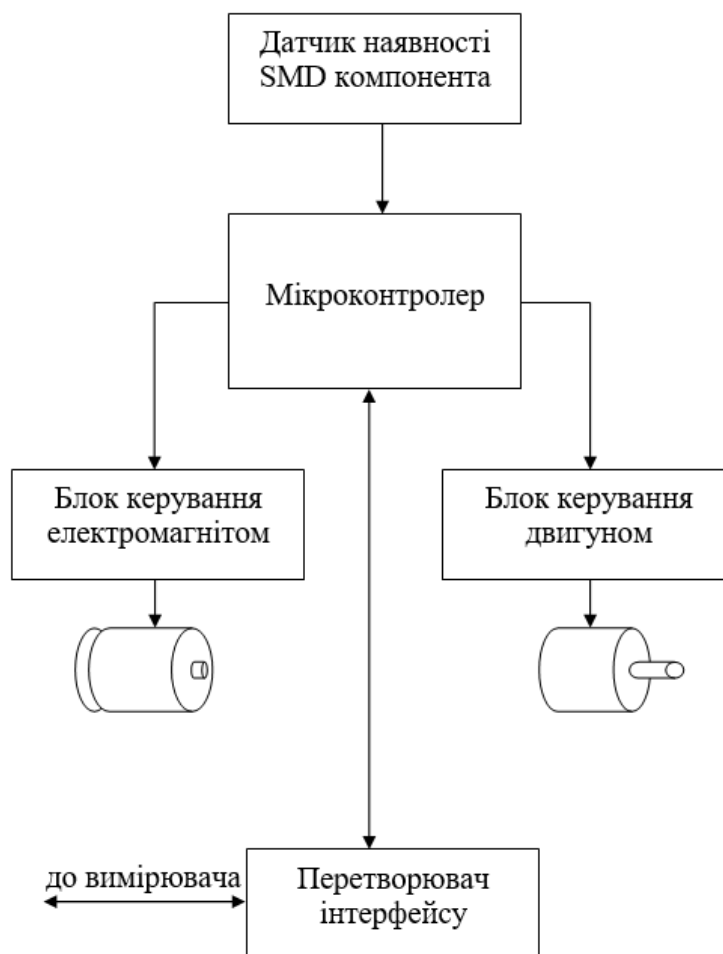


Рисунок 3.2 – Структурна схема макету

3.3 Розробка конструкції механізму подачі компонентів мікроелектроніки

Виходячи з проведеного аналізу існуючих рішень, що використовуються при проектуванні модулів сортування компонентів на виробництві, була запропонована наступна конструкція вібраційного лотка (рис. 3.3 та рис. 3.4).

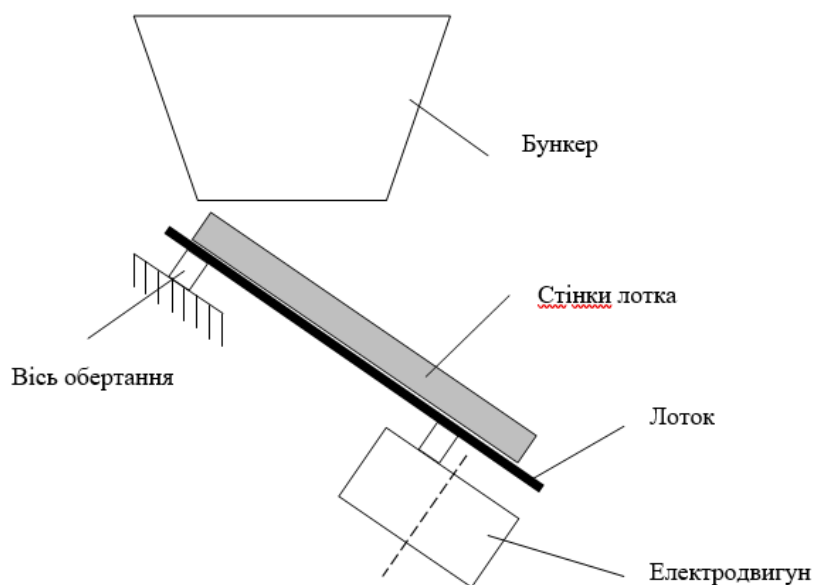


Рисунок 3.3 – Ескіз макету сортування SMD компонентів (вид збоку)

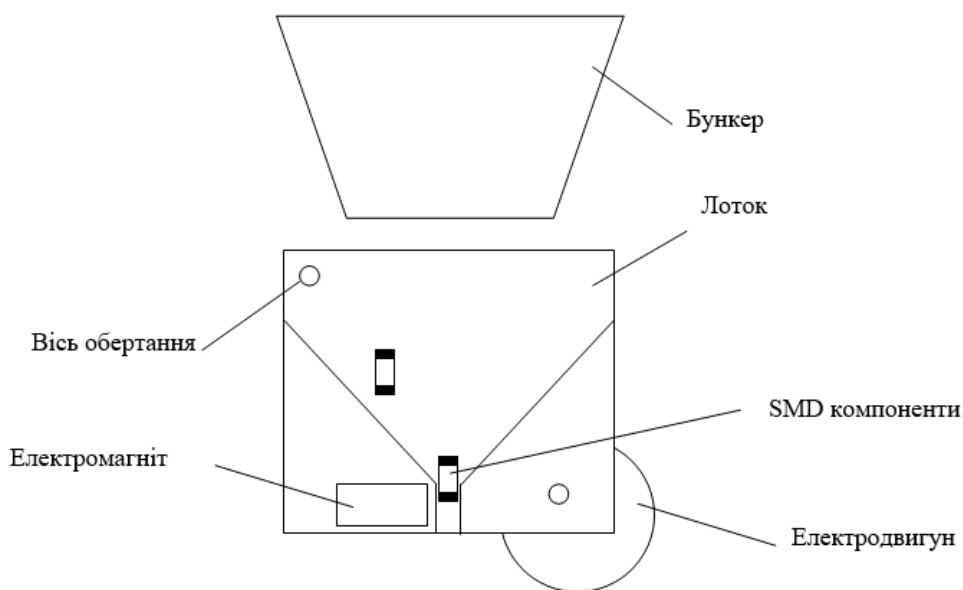


Рисунок 3.4 – Ескіз макету сортування SMD компонентів (вид спереду)

З бункера SMD компоненти надходять у лоток, обладнаний похилими стінками. Сам лоток також розташований під кутом 45° до горизонтальної поверхні. Під дією сили тяжіння, а також поздовжньої вібрації, компоненти SMD опускаються вниз.

Як видно з наведеного ескізу, внизу лотка стінки звужуються до калібрувального каналу. Завдяки цьому, компоненти вирівнюються,

орієнтуються та вишиковуюються в одну лінію. У такому положенні зручно проводити вимірювання.

Електромагніт, який також розташований на лотку, притискає вимірювальні щупи до елемента, а модуль керування видає сигнал на модуль вимірювання.

Після виконання вимірювання SMD компонент відпускається, і він надходить на модуль транспортування для переміщення в потрібну комірку.

3.4 Розрахунок параметрів системи управління вбудованим роботом

3.4.1 Метод керування маніпулятором із пружними ланками з урахуванням маси вантажу

Окрема ланка маніпулятора вбудованого робота, зображена на рис. 3.5 представляє частину плоского багатоланкового маніпулятора із загальною довжиною l .

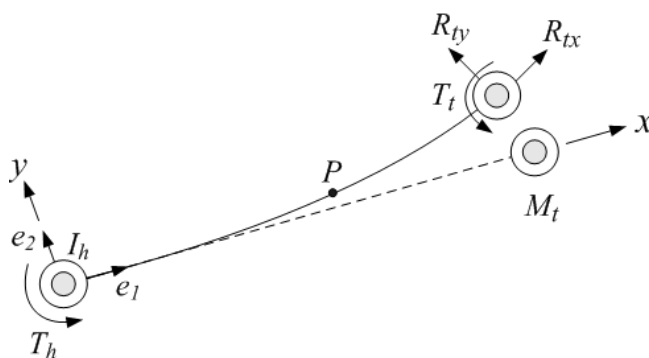


Рисунок 3.5 – Деформація пружної ланки маніпулятора

Маса вантажу M_t зосереджена у схваті, а момент інерції шарніра I_h – на іншому кінці. Центр шарніра збігається із центром приводу. Точка P , розташована на відстані x від центру шарніра, піддається пружними деформаціями, u_x і u_y , спрямованим вздовж осей, та обертанням θ . Їх значення визначаються щодо номінального положення, що характеризується рухомим

базисом (e_1, e_2), пов'язаним із шарніром, який обертається із заданими (номінальними) кутовими швидкістю та прискоренням $\dot{\theta}_h$ і $\ddot{\theta}_h$ відповідно.

Використовуючи принципи відносного руху, прискорення в точці Р можна задати виходячи з прискорення поступального руху та кутового прискорення шарніра – a_h і $\ddot{\theta}_h$ кутової швидкості шарніра, а також відносної швидкості v_{rel} та прискорення a_{rel} точки Р. У векторній формі вони мають такий вигляд:

$$a_p = \dot{\theta}_h \cdot (\dot{\theta}_h \cdot \bar{r}_p) + \ddot{\theta}_h \cdot \bar{r}_p + 2\dot{\theta}_h \cdot v_{rel} + a_h + a_{rel} \quad , \quad (3.1)$$

$$\ddot{\theta}_p = \ddot{\theta}_h + \ddot{\theta} \quad , \quad (3.2)$$

де $\bar{r}_p = (x + u_x) e_1(t) + u_y e_2(t)$ – положення точки Р після деформації щодо шарніра.

При виконанні векторних операцій із рівнянь (3.1) та (3.2) отримуємо наступні компоненти прискорення:

$$\begin{aligned} a_x &= -\dot{\theta}_h^2 u_x - \ddot{\theta}_h u_y - 2\dot{\theta}_h \dot{u}_y + \ddot{u}_x - \dot{\theta}_h^2 x + a_{hx}, \\ a_y &= -\dot{\theta}_h^2 u_y - \ddot{\theta}_h u_x + 2\dot{\theta}_h \dot{u}_x + \ddot{u}_y + \dot{\theta}_h^2 x + a_{hy}, \\ \ddot{\theta}_p &= \ddot{\theta}_h + \ddot{\theta}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

де \dot{u}_x та \dot{u}_y – компоненти відносної швидкості;

\ddot{u}_x та \ddot{u}_y – компоненти відносного прискорення;

a_{hx} та a_{hy} – прискорення шарніра.

Провівши дискретизацію поля переміщень, використовуючи метод кінцевих елементів, отримуємо:

$$\begin{bmatrix} M_{\theta\theta} & M_{\theta v} \\ M_{\theta v} & M_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_h \\ \ddot{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & C_{\theta v} \\ C_{\theta v} & C_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_h \\ \dot{v} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & K_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_h \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_h \\ F_v \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

де $M_{\theta\theta}$ – момент інерції на валу;

$M_{\theta v}$ – матриця-рядок що зв'язує ступінь свободи, обумовлену пружністю, і кут повороту шарніра;

M_{vv} – елемент матриці інерції пов'язаний зі ступенем свободи, обумовленої пружністю ланки;

$C_{\theta v}$ – матриця-рядок сил Коріоліса;

F_v – елемент вектора сили, зумовлений зовнішніми силами, силами інерції, гравітацією тощо;

θ_h – кут повороту шарніра;

v – ступінь рухливості, зумовлена пружністю.

В формулі 3.4 параметр C_{vv} визначається формулою:

$$C_{vv} = C + C_c(\dot{\theta}_h), \quad (3.5)$$

де C – елемент матриці внутрішнього демпфування матеріалу;

C_c – матриця сил Коріоліса.

Також параметр K_{vv} визначається за формулою:

$$K_{vv} = K_c(\ddot{\theta}_h, \dot{\theta}_h) + K_e, \quad (3.6)$$

де K_c – матриця відцентрової жорсткості;

K_e – елемент матриці жорсткості, пов'язаний із пружною рухливістю ланки робота.

Для отримання рішення мають бути відомі сили реакцій кожної ланки. Процес інтегрування повинен початися з останньої ланки, тому що в цьому випадку на його кінці сили реакції відсутні. Як тільки отримано значення моменту, що крутить, для останньої ланки, наступним кроком буде обчислення реакцій на шарнірі, які будуть передаватися на попередню ланку в ланцюгу. Аналогічним чином розрахунки продовжуються далі до першої ланки в

ланцюзі. Зазначимо, що концептуально цей процес відповідає методу Ньютона-Ейлера для жорстких роботів.

3.4.2 Розрахунок системи управління маніпулятором із пружними ланками з використанням на вході ПД-регулятора

У цій роботі пропонується використати помилку повного переміщення кінцевої точки ланки (схоплення) на вході ПД-регулятора (рис. 3.6).

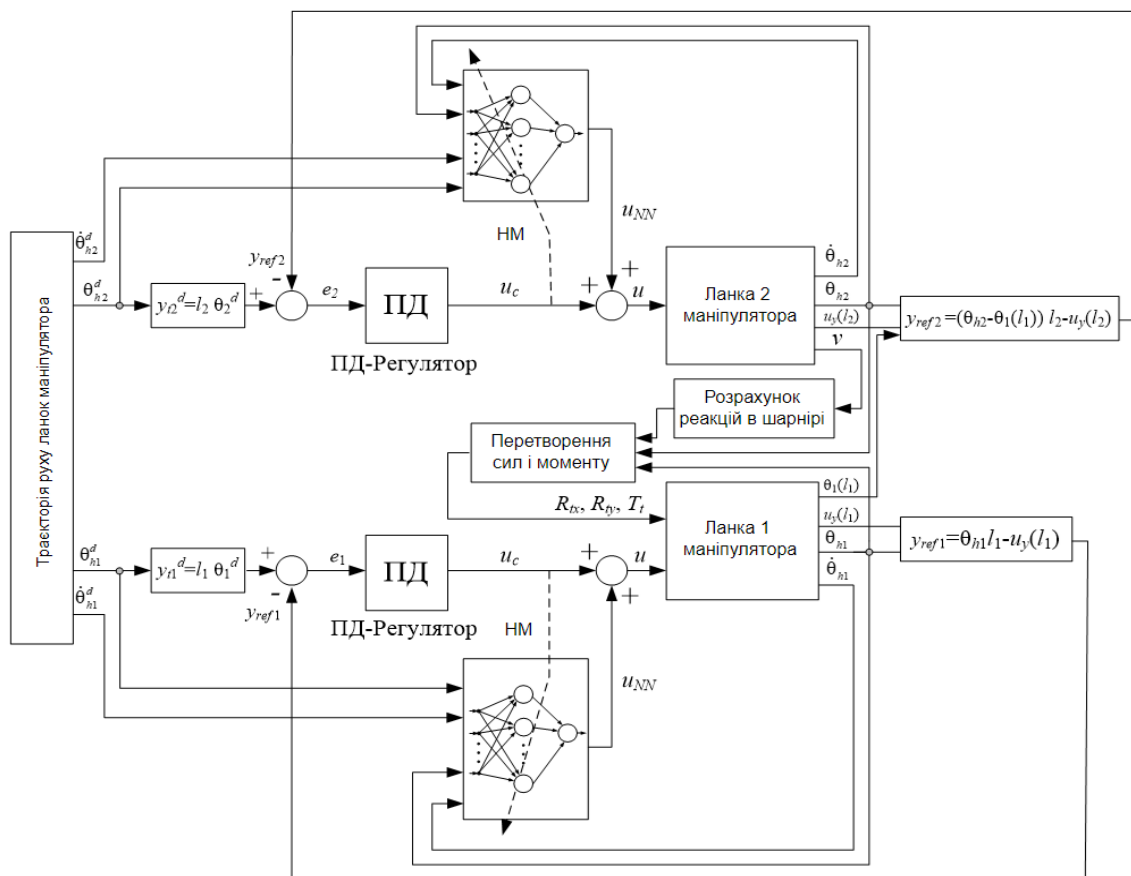


Рисунок 3.6 – Функціональна схема системи керування маніпулятора з пружними ланками

Повне переміщення y_{ref} можна як функцію руху жорсткого маніпулятора:

$$l \cdot (\theta_h(t) - \theta(l)) \quad (3.7)$$

та нормального пружного відхилення $u_y(l,t)$, у вигляді:

$$y_{ref} = l \cdot (\theta_h(t) - \theta(l)) - u_y(l,t), \quad (3.8)$$

де $\theta(l)$ – кут повороту поперечного перерізу кінцевої точки попередньої пружної ланки.

Кут $\theta(l)$ дорівнює нулю для першої ланки, тому що його зафіксований на жорсткому підставі. Потрібне повне відхилення кінцевої точки визначається як:

$$y_t^d = l \cdot \theta_h^d(t). \quad (3.9)$$

Створення стабілізуючого регулятора, що використовує y_{ref} як вихідний параметр, дає можливість досягнення стану виходу, що встановився. Стабілізуючий регулятор демпфує коливання $u_y(l,t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$.

Зворотна кінематика може застосовуватися для визначення кута повороту шарніра (θ_{hs}), швидкість переміщення якого потім розраховується з використанням матриці Якобі. Кут повороту шарніра (θ_h) повинен бути розрахований так, щоб кінцева точка пружної ланки знаходилася в заданому положенні з урахуванням зовнішніх навантажень, як показано на рис. 3.7.

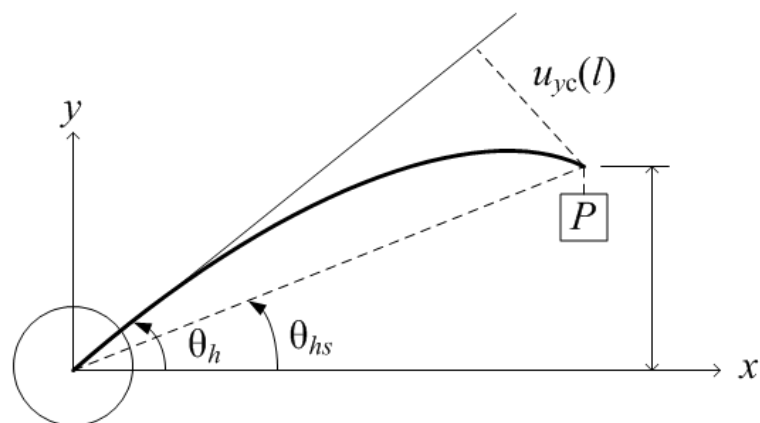


Рисунок 3.7 – Пружна деформація ланки

Беручи до уваги деформацію ланки, що має місце, може бути отримане таке співвідношення:

$$l \theta_{hs} = l \theta_h - u_{yc}(l), \quad (3.10)$$

де

$$u_{yc}(l) = \left[\frac{2 \cdot P \cdot l}{k_t \cdot \gamma \cdot b \cdot h} + \frac{1}{E \cdot I} \left(\frac{f_y \cdot l^4}{4} + \frac{2 \cdot P \cdot l^3}{3} \right) \right] \cdot \cos \theta_h, \quad (3.11)$$

$$f_y = g \cdot \rho \cdot h \cdot b, \quad (3.12)$$

де θ_{hs} – заданий кут повороту шарніра жорсткої ланки;

θ_h – кут повороту шарніра пружної ланки;

u_{yc} – статична деформація;

g – гравітаційна постійна, що становить $9,8 \text{ м/с}^2$;

h – товщина;

b – ширина.

Таким чином вирішена задача синтезу системи управління, яка спрямована на підвищення точності та швидкості позиціонування кінцевої точки маніпуляційної системи з пружними ланками та демпфування коливань, що неминуче виникають у процесі її переміщення.

3.5 Висновки до третього розділу

В результаті виконання третього розділу була розроблена архітектура та структурна схеми автоматизованої системи. Розроблена функціональна схема, а також структурна схема автоматизованої системи. Розроблена конструкція механізму подачі компонентів мікроелектроніки.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Вибір програмного засобу реалізації програмної моделі вбудованого робота

Кросплатформенний безкоштовний движок Unity3D із вбудованим IDE є потужним середовищем для створення додатків (візуалізації архітектури в реальному часі та масштабі, 3D анімації), які працюють в ОС Windows, Blackberry, PS3, OSX, Android, iPod, iPad, Linux, iPhone, iOS. Створені програми підтримує OpenGL і DirectX.

Програма підтримує текстури всіх популярних форматів зображення. Скрипти створюються переважно за допомогою JavaScript, коди писати можна і на C#. Програмні засоби, які вбудовані у середу для розробки Unity 3D, в реальному часі тестують продуктивність, швидкість створення графіки, використання пам'яті.

Проект в Unity ділиться на сцени (рівні) – окремі файли, що містять свої віртуальні світи зі своїм набором об'єктів, сценаріїв та налаштувань. Сцени можуть містити як, власне, об'єкти (моделі), і порожні ігрові об'єкти – об'єкти, які мають моделі. Об'єкти, у свою чергу, містять набори компонентів, з якими і взаємодіють скрипти. Також об'єкти мають назву (в Unity допускається наявність двох і більше об'єктів з однаковими назвами), може бути тег (мітка) і шар, на якому він повинен відображатися. Так, у будь-якого об'єкта на сцені обов'язково присутній компонент Transform – він зберігає координати розташування, повороту і розмірів об'єкта по всіх трьох осях. Об'єкти з видимою геометрією також за замовчуванням мають компонент Mesh Renderer, що робить модель об'єкта видимою.

Також Unity підтримує фізику твердих тіл та тканини, а також фізику типу Ragdoll (ганчіркова лялька). У редакторі є система наслідування об'єктів; дочірні об'єкти будуть повторювати всі зміни позиції, повороту та масштабу

батьківського об'єкта. Скрипти у редакторі прикріплюються до об'єктів як окремих компонентів.

При імпорті текстури в Unity можна згенерувати alpha-канал, mip-рівні, normal-map, light-map, карту відбитків, проте безпосередньо на модель текстуру не можна прикріпити – буде створено матеріал, якому буде призначено шейдер, а потім матеріал прикріпиться до моделі. Редактор Unity підтримує написання та редагування шейдерів. Редактор Unity має компонент для створення анімації, але також анімацію можна створити попередньо у 3D-редакторі та імпортувати разом із моделлю, а потім розбити на файли.

Основні функції програмного засобу:

- зрозумілий та доступний інтерфейс за підтримки DragDrop;
- підтримується сценарії на JavaScript, C#, Python;
- інтеграція движка в середовище, що розробляється;
- підтримує перетягування об'єктів у редакторі;
- підтримує імпорт великої кількості форматів;
- вбудована підтримка засобів доступу до мережі Інтернет;
- можливе застосування системи контролю версій;
- сервер ресурсів доступний як Mac OS X Installer, так Linux RPMs.

Підтримка кількох платформ дозволяє гнучко впровадити сервер ресурсів Unity в існуючу IT-інфраструктуру.

4.2 Створення програмної моделі вбудованого роботизованого маніпулятора

Для створення програмної моделі за допомогою засобу 3D моделювання було створено програмну модель робота маніпулятора та імпортовано в проект Unity3D (рис. 4.1). Ця модель повністю повторює розглянутий у проекті маніпулятор і складається з таких основних частин (основа, ланка 1, ланка 2, плече, передпліччя).

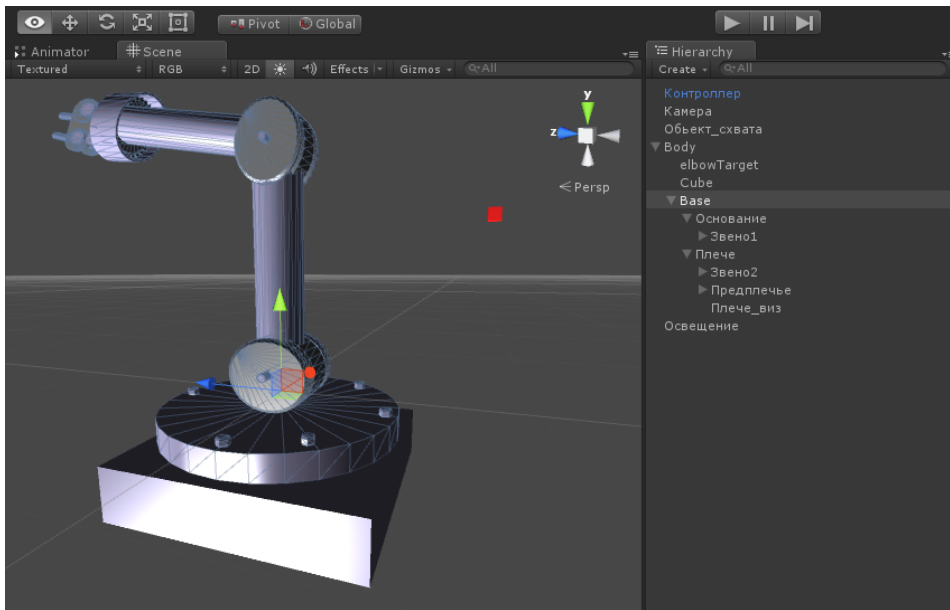


Рисунок 4.1 – Наближена 3D модель робота маніпулятора

В ієрархії наочно відображені всі об'єкти, що знаходяться на сцені в ієрархічній послідовності. Таким чином, ми отримали модель маніпулятора максимально наближену до маніпулятора, що розроблюється.

На сцені також є об'єкт «Контролер» – об'єкт, який відповідає за керування роботом і так само містить у собі програмний код, параметри якого необхідно розглянути детальніше. Параметри контролера передаються код, зображені рисунку 4.2.

Контролер, який керує моделлю, має набір певних параметрів. Насамперед він містить у собі параметри компонентів «Transform» кожного зчленування робота. Цей компонент міститься у будь-якому об'єкті на сцені.

Transform – компонент, який зберігає в собі координати розташування, повороту та розмірів об'єкта по всіх трьох осях. Також контролер містить параметр швидкості. Цей параметр відповідає за швидкість переміщення маніпулятора у просторі, у тому числі швидкість наближення схвату маніпулятора до кінцевої мети. Останній параметр контролера це похибка основної кінематичної пари, даний параметр є узагальненим коефіцієнтом похибки маніпулятора і непередбачуваного зсуву маніпулятора. Даний

параметр емулює реальний сценарій роботи маніпулятора, який можуть діяти різні сили, такі як сили натягу, тертя тощо.



Рисунок 4.2 – Параметри керування маніпулятором

Також графічний редактор Unity дозволяє в реальному часі відстежувати координати положення схвату, будь-якої з ланок маніпулятора, і кінцевої точки, яка як графічне позначення представлена червоним кубиком, який легко помітити

4.3 Аналіз принципу інверсної кінематики

Технологія керування вбудованим маніпулятором побудована на інверсній кінематиці. Інверсна кінематика, як і пряма, застосовуються до моделей будь-яких персонажів чи об'єктів, створених з використанням скелетної анімації. Суть скелетної анімації у тому, що об'єкт складається з набору твердих сегментів (компонентів), з'єднаних зчленуваннями. При цьому сегменти можуть об'єднуватися в кінематичні пари, які об'єднуються в

кінематичні ланцюги. Дані сегменти утворюють ієрархічні ланцюжки, які мають верхній і нижній рівень. Сегменти (компоненти) верхніх рівнів називаються компонентами-предками (або батьківськими сегментами), а компоненти нижніх – компонентами-нащадками (або дочірніми сегментами).

Основною відмінністю прямої кінематики від інверсної кінематики є те, що за прямої, будь-яка дія передається по ієрархічному ланцюжку зверху вниз. Наприклад, при русі кульшового суглоба рухаються всі нащадки, тобто колінний суглоб і всі інші. Інверсна кінематика використовує принцип, діаметрально протилежний принципу прямої – переміщення компонентів-нащадків призводить до зміни положення компонентів-предків, тобто алгоритм розраховує положення та орієнтацію компонентів-предків, виходячи із положення та орієнтації компонентів-нащадків.

В інверсній кінематиці дочірній сегмент (компонент-нащадок), який викликає зміну положення та орієнтацію інших об'єктів і розташований у середині окремого ієрархічного ланцюжка сегментів, називається ефектором. Якщо ефектор є кінцевим об'єктом даного ієрархічного ланцюжка, він називається кінцевим ефектором. Саме через ефектор здійснюється маніпулювання всім ієрархічним ланцюжком. Зміна положення та/або орієнтації кінцевого ефектора призводить до зміни положення та/або орієнтації всіх сегментів ієрархічного ланцюжка за законами інверсної кінематики. Зміна становища та/або орієнтації простого (не кінцевого) ефектора призводить до того, що положення об'єктів, що стоять за ієрархією нижче за нього, змінюється за законами прямої кінематики, а об'єктів з вищою ієрархією – за законами інверсної кінематики.

Ключем до успішної реалізації інверсної кінематики є анімація в межах обмежень: кінцівки моделі персонажа повинні поводитися в розумних антропоморфічних межах. Така сама ситуація і з робототехнічними пристроями, які мають фізичні обмеження, такі як середовище, в якому вони працюють, обмеження руху їх суглобів і обмежені фізичні навантаження та швидкості, з якими вони можуть працювати.

4.4 Розробка програмного коду управління вбудованим роботом

Управління маніпулятором реалізовано у двох режимах.

Перший режим, у якому маніпулятор керується автоматично, за принципом інверсної кінематики, технологія якого описано у попередньому розділі. Другий режим заснований на ручному керуванні маніпулятором і реалізується за допомогою команд, записаних у текстовому файлі конфігурації у форматі обміну даними JSON.

Основним методом автоматичного режиму є метод розрахунку кута. Для того, щоб визначити кут нахилу ланки маніпулятора, була реалізована наступна частина коду:

```
float upperArmLength = Vector3.Distance(upperArm.position,
forearm.position) errorK1;
float forearmLength = Vector3.Distance(forearm.position, hand.position)
errorK1;
float armLength = upperArmLength + forearmLength;
float hypotenuse = upperArmLength;
float targetDistance = Vector3.Distance(upperArm.position, target.position);
targetDistance = Mathf.Min (targetDistance, armLength - 0.0001f);
float adjacent = (Mathf.Pow(hypotenuse, 2) - Mathf.Pow(forearmLength, 2) +
Mathf.Pow(targetDistance, 2)) / (2 targetDistance);
float ikAngle = Mathf.Acos (adjacent / hypotenuse) Mathf.Rad2Deg;
```

Принцип знаходження кута повороту базової ланки маніпулятора, заснований на радіусах кіл, що перетинаються. Для того щоб можна було змінювати позицію кінцевої точки маніпулятора, була введена затримка на переміщення маніпулятора, точніше швидкість його переміщення яку можна регулювати. Ділянка коду, що відповідає за плавне переміщення маніпулятора, представлена нижче:

```
speed = Mathf.Clamp (speed);  
upperArm.rotation = Quaternion.Slerp(upperArmRotation, upperArm.rotation,  
speed);  
forearm.rotation = Quaternion.Slerp(forearmRotation, forearm.rotation, speed);  
hand.rotation = Quaternion.Slerp(handRotation, hand.rotation, speed);
```

Другий режим маніпулятора відповідає за ручне керування маніпулятором. Для того, щоб виконати переміщення певної ланки маніпулятора, необхідно записати команду в конфігураційний файл і зберегти його. Управління маніпулятора здійснюється за допомогою переміщення його складових частин. Так як розглядається дволанковий маніпулятор, то переміщення проводиться трьох складових частин: основа, плече, передпліччя. Була повна відповідність макету робота, програмний маніпулятор був обмежений у кутах повороту складових частин. Таким чином, поворот основи можна робити на кут в діапазоні від 0° до 180° , плечовий суглоб та передпліччя в діапазоні від 0° до 90° .

Для реалізації зазначених можливостей була складена програмна структура файлу конфігурації, яка складається з двох класів. Перший клас `CommandList.cs`. Цей клас містить список команд, які необхідно виконати маніпулятору, тип режиму, і координати об'єкта схвата. Реалізація цього класу представлення нижче.

```
public class CommandList  
{  
    public Command[] commands;  
    public CommandType commandType;  
    public float targetX;  
    public float targetY;  
}
```

Другий клас `Command.cs` визначає структури окремої команди. Даний клас містить у собі набір параметрів, таких як напрям руху частини, тип ланки, яке обертаємо, кут повороту ланки, версію команди (ID) і ряд додаткових параметрів. Частина коду описує цей клас представлена нижче.

```
public class Command
{
    public DirectType directType;
    public ZvenoType zvenoType;
    public float angle;
    public float version;
}
```

Для визначення типу ланки та напрямки руху складової частини маніпулятора було створено низку програмних перерахувань. Для того, щоб створити команду у файлі конфігурації (рис. 4.3) та позначити режим роботи програми, необхідно скористатися даними перерахуваннями та заповнити додаткові параметри.

```

1  {
2  "commandType":1,
3  "commands":
4      [
5          {
6              "directType":0,
7              "zvenoType":0,
8              "angle":25
9          },
10         {
11             "directType":1,
12             "zvenoType":0,
13             "angle":25
14         }
15     ]
16 }

```

Рисунок 4.3 – Файл команд керування роботом

Для опису роботи з конфігураційним файлом необхідно описати можливі варіанти значень для опису команди.

Перший параметр "commandType" – опис основного режиму роботи програми. Має два типи, відповідно два значення 0 або 1. Програмне перерахування цього параметра наведено нижче.

```
public enum CommandType
{
    Auto, // 0
    Arm, // 1
}
```

Параметр "commands" – список команд, які необхідно виконати, додавання команд до списку необхідно проводити по одній команді. Кожна команда має набір параметрів. Перший параметр команди "directType" – опис напрямку переміщення ланки маніпулятора. Варіанти напрямку представлені у переліку «DirectType».

```
public enum DirectType
{
    Right, //0
    Left, //1
    Up, //2
    Down //3
}
```

Даний перелік має низку особливостей. Для переміщення певного типу ланки доступні певні види переміщення. Таким чином, для керування основою маніпулятора необхідно використовувати типи Right/Left. Для керування плечового суглоба та передпліччя типи Up/Down. Якщо вказати неправильне

значення переміщення не відбудеться, необхідно вказувати порядковий номер значення.

Наступний параметр «ZvenoType» – цей параметр необхідний для уточнення типу ланки, яку необхідно повернути. Цей параметр має три значення, відповідно до кількості рухомих частин програмної моделі робота. Перелік варіантів цього параметра наведено нижче.

```
public enum ZvenoType
{
    Base, // 0
    Down, // 1
    Up // 2
}
```

Щоб повернути основу необхідно вказати тип «Base», щоб повернути плече – «Down», передпліччя – «Up». Так само, як і в попередньому випадку, необхідно вказати порядковий номер значення. Якщо вказати неправильне значення, повернеться інша складова робота.

4.5 Розробка програмного модуля нейронної мережі

Для того щоб проаналізувати роботу маніпулятора, оптимізація руху якого ґрунтується на технології нейронної мережі, необхідно було написати програмний модуль. Цей модуль виконує розрахунок коефіцієнта, який необхідно змінити кут повороту ланки маніпулятора. На вхід такої системи подається координати кінцевої точки схоплення маніпулятора, а на виході отримуємо відповідний коефіцієнт коригування кута. Програмний модуль містить у собі клас «Neuron», який визначає структуру одного нейрона. Код цього класу представлений нижче:

```

public class Neuron
{
    //Входи нейрона
    public Link[,] IncomingLinks;
    public Point point;
    public double outValue;
    public Neuron(int countLinks)
    {
        IncomingLinks = новий Link [countLinks / 2, countLinks / 2];
        for (int i = 0; i < countLinks/2; i++)
            for (int j = 0; j < countLinks/2; j++)
                IncomingLinks[i, j] = новий Link();
    }
}

```

Представлений клас містить у собі перелік зв'язків нейрона, під час створення нейрона, оскільки кількість зв'язків може бути різне, йому передається кількість зв'язків нейрона, потім відбувається їх ініціалізація.

Клас, який визначає структуру зв'язку нейрона, представлений нижче:

```

public class Link{
    public double Weight;
    public double Signal;
}

```

Цей клас містить параметр ваги зв'язку та параметр активності зв'язку, якщо канал зв'язку активний, то значення параметра `Signal > 0`. Вага зв'язку встановлюється на момент навчання нейронної мережі. Для кожної зі зв'язку нейрона, залежно від того, в яку зону координатної сітки потрапила точка

навчання, виставляється вага зв'язку параметр `Weight`. Основним класом нейронної мережі є клас `MyNetwork` (рис. 4.4).

Цей клас містить набір параметрів, які відповідають за налаштування нейронної мережі та набір методів для керування мережею. Основними параметрами є межі координатної сітки `xMax`, `yMax` та параметр `gridCount` – кількість ділянок на які ділиться координатна площина, чим більше значення параметра, чим вища точність позиціонування маніпулятора. Методи даного класу дозволяють керувати мережею, дозволяють навчити мережу, надіслати сигнал на мережу, створити нейрони мережі та отримати результат. Результатом мережі є нейрон, який має найбільший сумарний ваговий коефіцієнт.

```
public class MyNetwork
{
    public static int xMax = 10;
    public static int yMax = 10;
    public float[,] Grid;
    public static float gridCount = 100;
    private List<Neuron> _neurons = new List<Neuron>();

    ссылка 1
    public void SendSignal(Input inputs) {...}

    ссылка 1
    public void Study(List<Point> posints) {...}

    ссылка 1
    private void CreateNeurons(Point point) {...}

    ссылка 1
    public Neuron GetBestNeuron() {...}
}
```

Рисунок 4.4 – Структура класу мережі `My Network`

4.6 Моделювання роботи модуля нейронної мережі

Щоб змоделювати роботу нейронної мережі з урахуванням моделі маніпулятора, якого ми створили, необхідно навчити систему. Для того, щоб навчити нейронну систему, було зроблено певну кількість переміщень маніпулятора в різні точки площини XY, при кожному переміщенні маніпулятора було визначено коефіцієнти зміщення кута кінематичної пари плеча маніпулятора, дані збережені в параметрі програми StudyData (рис. 4.5). Даний параметр зберігає масив вихідних даних, які містять координати точок, в які під час досвіду переміщався маніпулятор і коефіцієнт зміщення.

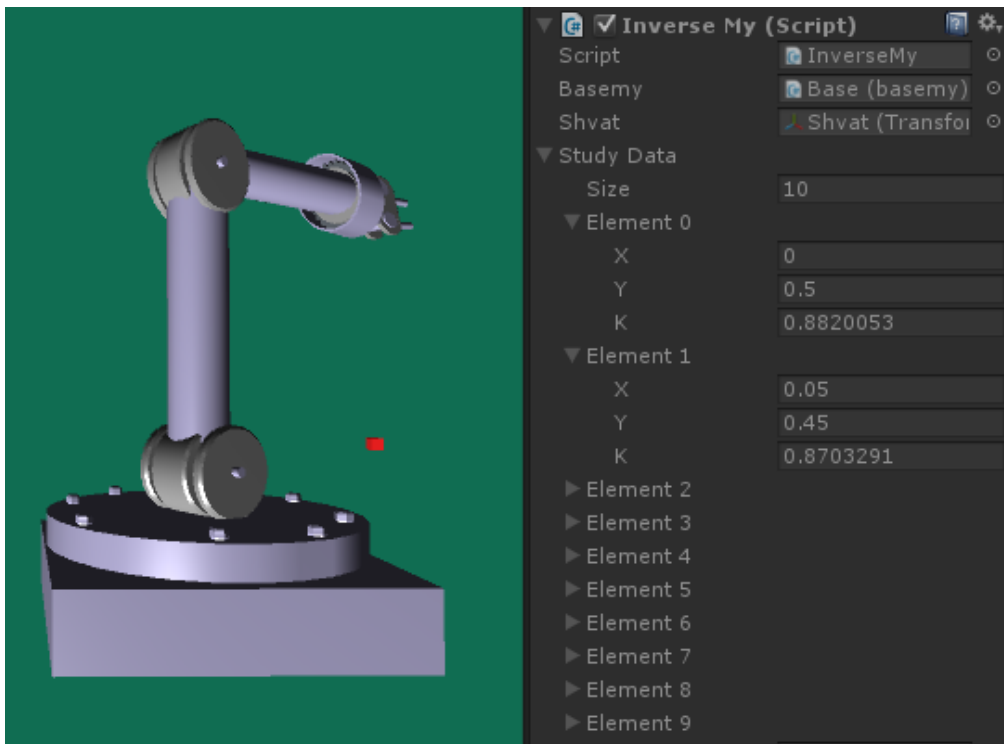


Рисунок 4.5 – Вікно результатів проведених вимірів програми

На рисунку видно, що кількість вимірів дорівнює десяти, і кожен вимір має три параметри. В ході даного експерименту коефіцієнт зміщення кута знаходиться в межах значень від 0 до 1. Результати проведених вимірів представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати вимірів коефіцієнтів зміщення

№	X	Y	K
1	0,5	0	0,858132
2	0,45	0,05	0,8467718
3	0,4	0,1	0,8378946
4	0,35	0,15	0,8315239
5	0,3	0,2	0,8276875
6	0,25	0,25	0,8264060
7	0,2	0,3	0,8276875
8	0,15	0,35	0,8315239
9	0,1	0,4	0,9378946
10	0,05	0,45	0,8477180

За допомогою даних вимірів буде проведено навчання нейронної мережі. На вхід мережі буде надіслано крапки з відповідними коефіцієнтами. Після навчання мережі її параметри збережуться в пам'яті і при подальшому використанні мережі можна вважати, що вона навчена. Розташування точок навчання маніпулятора на площині представлено на графіку (рис. 4.6).

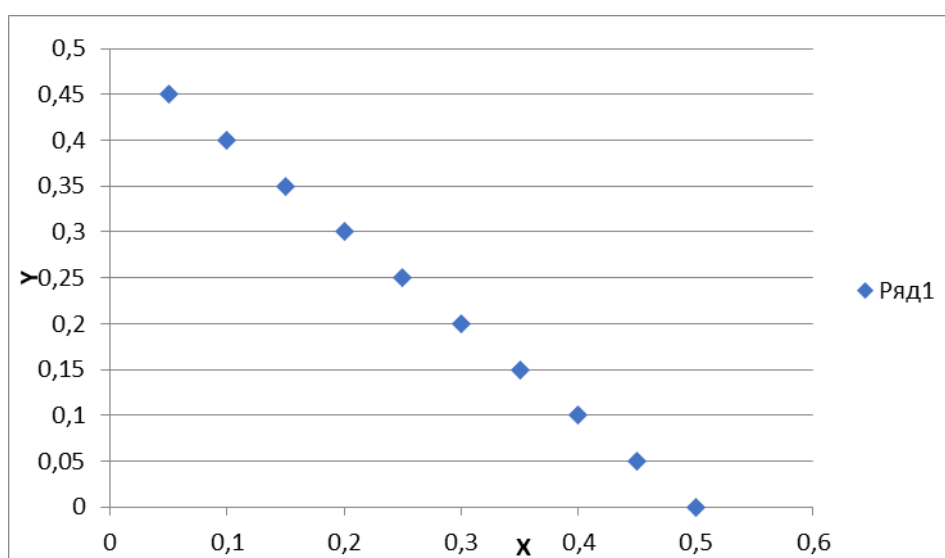


Рисунок 4.6 – Положення точок переміщення маніпулятора

Перед тим, як навчити систему, було проведено аналіз роботи розробленої моделі. Ця модель має вбудовану похибку повороту ланки, що призводить до значних похибок при його роботі. Для того, щоб проаналізувати точність маніпулятора до його навчання, була обрана кінцева точка положення схоплення маніпулятора і проведено переміщення маніпулятора. Так як від 1 вбудована похибка маніпулятора змінюється в межах $1 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-6}$, ми отримали ряд кінцевих положень схвату маніпулятора. Струму кінцевого положення описана двома координатами на площині XY і відповідає координатам (0,152; 0.352) відповідно. Результати отриманих кінцевих положень схвата маніпулятора наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати переміщення маніпулятора в задану точку до навчання

№ точки	X	Y
1	0,1764796	0,2726915
2	0,1796683	0,2543045
3	0,1784387	0,2615516
4	0,1764779	0,2726752
5	0,179061	0,2579106
6	0,1778012	0,2652244

Наочніше представлення даних можна побачити на графіку відносного положення результатів переміщення маніпулятора від заданої кінцевої точки (рис. 4.7).

Червоним кольором позначено кінцеву точку переміщення маніпулятора. Синім кольором позначені точки положення схоплення маніпулятора після його переміщення.

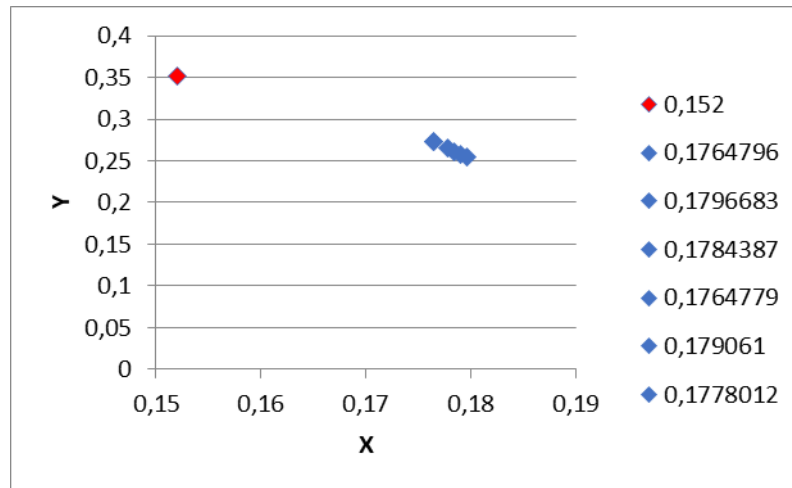


Рисунок 4.7 – Положення точок переміщення маніпулятора щодо заданої до навчання мережі

Після того як система була навчена, був проведений повторний досвід з такою ж кінцевою точкою як і в попередньому експерименті. На вхід нейронної мережі було відправлено цю кінцеву точку, програмний модуль нейронної мережі самостійно визначив відповідний вихідний параметр коефіцієнта усунення. Результат запуску програмного модуля нейронної мережі представлено рисунку 4.8.

```

20 0,827
30 0,827
ENDDDDDD
15 0,831524
35 0,831524
ENDDDDDD
10 0,937
40 0,937
ENDDDDDD
5 0,847
45 0,847
i 15
j 35
Count 10
0 0,858132
0 0,8468772
0 0,83789
0 0,831524
0 0,827688
0 0,826406
0 0,827
0 0,827
0 0,831524
0 0,937
0 0,847
0,831524

```

Рисунок 4.8 – Результат роботи програмного модуля нейронної мережі

Після навчання нейронної мережі було проведено повторний експеримент із переміщенням схвата маніпулятора в задану точку, лише цього разу з урахуванням коефіцієнта усунення отриманого результату роботи нейронної мережі. Результати повторного експерименту представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати переміщення маніпулятора в задану точку після навчання мережі

№	X	Y
1	0,1515367	0,3788897
2	0,1524585	0,3759066
3	0,1533594	0,372929
4	0,154242	0,369954
5	0,1542419	0,369954
6	0,155106	0,3669861

Розташування точок повторного експерименту на площині XY щодо заданої кінцевої точки схоплення маніпулятора представлено графіку відносного розташування (рис. 4.9).

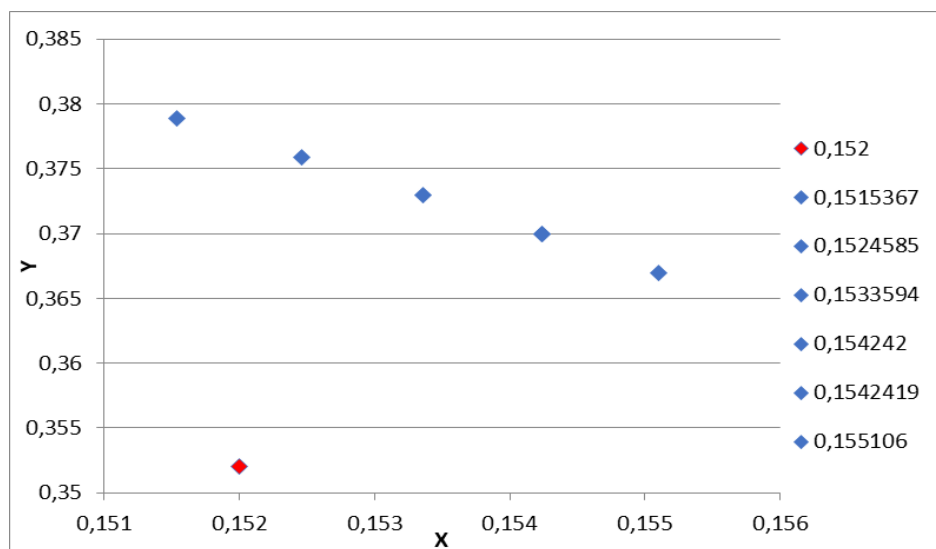


Рисунок 4.9 – Положення точок переміщення маніпулятора щодо заданої точки після навчання мережі

Таким чином, в ході експерименту ми отримали два графіки кінцевих положень схвату маніпулятора щодо заданої кінцевої точки положення схвату. З отриманих графіків можна розрахувати середньоквадратичне відхилення маніпулятора до навчання нейронної мережі та після її навчання. Розрахунок відхилення необхідно провести за однією з координат за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (4.1)$$

Таким чином, при першому досвіді в якому нейронна мережа не була задіяна середньоквадратичне відхилення маніпулятора склало 0,02601. Після того як нейронна мережа була навчена середньоквадратичним відхиленням склало 0,00191. Отже, запропонована модель успішна. Нейронна програмна модель покращила показання робота маніпулятора, а саме підвищила його точність при мінімальних витратах на обчислення зміщення ланки. Результат показав, що запропонований метод оптимізації управління маніпулятором промислового робота значно покращує показання точності.

4.7 Висновки до четвертого розділу

В даному розділі були виконані експериментальні дослідження. Проведено вибір програмного засобу реалізації розробленої моделі вбудованого робота. Створена програмна модель вбудованого роботизованого маніпулятора. Виконано аналіз принципу інверсної кінематики. Розроблено програмний код управління вбудованим роботом.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання даної кваліфікаційної роботи розроблена автоматизована система для інтеграції промислового робота біля промислового конвеєра, або на ділянці сортування, синхронізації рухів маніпулятора із технологічним обладнанням та забезпечення надійного механізму передачі мікрорадіоелементів.

В результаті виконання першого розділу роботи виконано аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів у виробничому процесі. Описані різні типи автономних транспортних роботів.

Проведено аналіз проблеми поєднання автономного транспортного робота з промисловим обладнанням. Описані системи позиціонування автономних транспортних роботів та наведено опис різних типів датчиків, що використовуються для вирішення даної задачі.

Проведено аналіз методів застосування вбудованих роботів в технологічний процес забезпечення виробничої лінії засобами мікроелектроніки. Розглянуті системи позиціонування автономних транспортних роботів.

Виконано аналіз принципів сортування деталей мікроелектроніки з використанням вбудованого робототехнічного засобу. Розглянуті бункерні завантажувально-орієнтуючі пристрої, способи автоматичного живлення та орієнтування. Розглянуті принципи автоматичного орієнтування елементів мікроелектроніки в пристрої сортування.

Розроблена архітектура та структурна схеми автоматизованої системи. Розроблена функціональна схема, а також структурна схема автоматизованої системи. Розроблена конструкція механізму подачі компонентів мікроелектроніки.

Виконані експериментальні дослідження. Проведено вибір програмного засобу реалізації розробленої моделі вбудованого робота. Створена програмна модель вбудованого роботизованого маніпулятора. Виконано аналіз принципу інверсної кінематики. Розроблено програмний код управління вбудованим роботом.

Проаналізовані результати переміщення маніпулятора в задану точку, що визначена результатами моделювання. Результат моделювання показав, що середньоквадратичне відхилення маніпулятора склало 0,02601.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лашин З.В. Аналіз методів та принципів використання автоматизованих керованих транспортних засобів у виробничому процесі / Автоматизація та Приладобудування («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2024) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. Харків : ХНУРЕ, 2024. Вип. 2. С. 53-163.
2. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва»; «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2023. 56с.
4. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.
5. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.
6. Положення про кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 06 травня 2021 р. № 143. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.

content/uploads/Main_Docs_NURE/143-vid-06.05.2021-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi -universitetu.pdf

7. Закон України “Про вищу освіту” від 01.07.2014 № 1556-VII. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>.

8. Положення про організацію освітнього процесу у ХНУРЕ [Електронний ресурс] : Наказ ХНУРЕ від 27.11.2020 р. № 400. Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-organizaciju-osvitnogo-procesu-v-hnure.pdf.

9. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 03.05. 2019 р. № 222. Режим доступу: <https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-pro-vvedennja-v-dijurishennja-vchenoi-radi-universitetu.pdf>.

10. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. 366 с.

11. Автоматично керовані транспортні засоби [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://www.jungheinrich.ua/](http://www.jungheinrich.ua/)

12. Laser Navigation solution introduction [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://myten-tech.com/solutions/](http://www.myten-tech.com/solutions/)

13. Automated Guided Vehicles: Discovering the Various Types of AGVs [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/automated-guided-vehicle.html](https://www.iqsdirectory.com/articles/automated-guided-vehicle/automated-guided-vehicle.html)

14. Warehouse Automation: Levels, Types and Applications [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://www.iqsdirectory.com/articles/automation-equipment/warehouse-automation.html](https://www.iqsdirectory.com/articles/automation-equipment/warehouse-automation.html)

15. AGV locomotion systems [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://www.iqsdirectory.com/](http://www.iqsdirectory.com/)

16. Кирилович В.А., Кравчук А.Р. Проблеми промислової колаборативної робототехніки в гнучких механоскладальних виробництвах // Тези Всеукраїнської науково-практичної онлайн-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 16-20, 26 травня. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 72.

17. Accerion's new localization sensor helps robots to navigate with sub-millimeter-level accuracy[Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: [www / URL: https://innovationorigins.com/en/accerions-new-localization-sensor-helps-robots-to-navigate-with-sub-millimeter-level-accuracy/](https://innovationorigins.com/en/accerions-new-localization-sensor-helps-robots-to-navigate-with-sub-millimeter-level-accuracy/)

18. Mielle M., Magnusson M., Lilienthal A. J. A comparative analysis of radar and lidar sensing for localization and mapping. European Conference on Mobile Robots (ECMR) : proceedings. (Prague, September 4-6, 2019). Pp. 1-6.

19. Nevlyudov, I., Novoselov, S., & Sukhachov, K. (2023). METHOD OF SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING FOR CONSTRUCTION OF 2.5D MAPS OF THE ENVIRONMENT USING ROS. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES, (2 (24), 145–160. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.24.145>

20. Шинкарик М.М., Ворощук В.Я. Технологічне обладнання промисловості: навч. посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. 284 с.

21. Черевко О.І., Михайлов В.М., Кіптела Л.В. та ін. Розрахунок технологічного обладнання харчових виробництв. Навчальний посібник. Харків: Харківський державний університет харчування та торгівлі, 2019. 305с.

22. Основи наукових досліджень: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, Ю.М. Олександров, А.О. Андрусевич, О.О. Чала. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2019. 396 с.

23. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. 366 с.

24. Новоселов С.П. Багатопотокове програмне керування рухом промислового маніпулятора /Новоселов С.П., Сичова О.В., Теслюк С.І. Міжнародна науково-практична конференція,"Інтелектуальні інформаційні системи в управлінні проектами та економіці в умовах воєнного,стану", 13– 16 вересня 2022 року у місті Коблево. С. 92-95.

25. Products Unity [Електронний ресурс] owerPro / Режим доступу: www / URL: <https://unity.com>