

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

Проектування сенсорної системи маніпуляційного робота спеціального
призначення

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи КТРСм-20-1

Борисовський А. С.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(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 проф. Безкоровайний В. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри КІТАМ

(підпис)

Невлюдов І.Ш.

(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики та комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Борисовському Артуру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Проектування сенсорної системи маніпуляційного робота спеціального призначення»

затверджена наказом університету від «08» листопада 2021 р. № 1698 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії «13» грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження – робот-маніпулятор спеціального призначення. Предмет дослідження – сенсорна система маніпуляційного робота. Технічне забезпечення: плати Arduino, Arduino IDE. Середовище розробки – Arduino IDE.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; огляд сучасного стану проблеми проектування роботів-маніпуляторів; роботи-маніпулятори як об'єкти проектування; технології проектування роботів-маніпуляторів; задачі проектування сенсорної системи; постановка задачі проектування сенсорної системи; розробка системних рішень задачі; обґрунтування вибору датчиків; розробка функціональної частини системи; обробка сигналів з датчиків; розробка апаратно-програмного забезпечення задачі; результати експериментів та їх аналіз; висновки; перелік джерел посилання; презентація; відомість кваліфікаційної роботи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) на аркушах формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання, аналіз завдання, уточнення плану роботи	01.09.21	Виконано
2	Аналіз огляд сучасного стану проблеми проектування роботів-маніпуляторів	08.09.21	Виконано
3	Огляд існуючих технологій проектування сенсорних систем роботів	15.09.21	Виконано
4	Розробка системних рішень задачі	29.09.21	Виконано
5	Розробка апаратно-програмного забезпечення	13.10.21	Виконано
6	Проведення експериментальних досліджень	27.10.21	Виконано
7	Підготовка публікацій за результатами дослідження	10.11.21	Виконано
8	Оформлення пояснювальної записки	24.11.21	Виконано
9	Подання закінченої роботи науковому керівникові	03.12.21	Виконано
10	Усунення зауважень наукового керівника	05.12.21	Виконано
11	Підготовка презентації	07.12.21	Виконано
12	Подання роботи на рецензування	08.12.21	Виконано
13	Попередній захист	11.12.21	Виконано
14	Подання роботи до екзаменаційної комісії	13.12.21	Виконано

Дата видачі завдання «01» вересня 2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Безкоровайний В. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 97 с., 32 рис., 1 дод., 35 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЄКТУВАННЯ, СЕНСОРНА СИСТЕМА,
ДАТЧИКИ, РОБОТ-МАНІПУЛЯТОР, ARDUINO.

Об'єкт дослідження – робот-маніпулятор.

Предмет дослідження – сенсорна система робота-маніпулятора.

Методи дослідження – системний підхід, методи структурного аналізу, автоматизації проєктування, сучасних інформаційних технологій.

Мета роботи – проєктування сенсорної системи маніпуляційного робота спеціального призначення.

У кваліфікаційній роботі запропоновані системні та апаратно-програмні рішення на основі плати ARDUINO зі створення сенсорної системи робота для визначення відстані до об'єктів та визначення сили захвату маніпулятора. Розроблена система дає змогу з заданою точністю отримувати інформацію про дальність об'єкта чи перешкоди, яку потрібно обійти, вимірювати температуру об'єкта і визначати силу стиснення на об'єкт у схопленні маніпулятора.

Розроблена сенсорна система дозволяє з необхідною точністю роботу визначати відстань до об'єктів навколишнього середовища та розпізнавати силу схвату маніпулятора.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані в статті у збірнику студентських наукових статей та на всеукраїнській конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених.

ABSTRACT

Explanatory note: 97 pages, 32 figures, 35 sources, 1 addition.

SENSOR SYSTEM, SENSORS, TECHNOLOGY, DESIGN
AUTOMATION, ROBOT-MANIPULATOR OF SPECIAL PURPOSE.

The object of research is a robot manipulator.

The subject of research is the sensory system of the robot manipulator.

Research methods – systems approach, methods of structural analysis, design automation, modern information technology.

The purpose of the work is to design a sensory system of a special purpose manipulation robot.

The qualification work offers system and hardware-software solutions based on the ARDUINO board to create a sensor system robot to recognize distances to objects and determine the grip of the manipulator.

The developed system allows to obtain with a given accuracy information about the range of the object or obstacle to be bypassed, to measure the temperature of the object and determine the force of compression on the object in the grip of the manipulator.

The developed sensor system allows to work with the necessary accuracy to determine the distance to the objects of the environment and to recognize the grip of the manipulator.

The results of the qualification work were tested in the article in the collection of student scientific articles and at the all-Ukrainian conference of higher education seekers and young scientists.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень.....	7
Вступ.....	8
1 Огляд сучасного стану проблеми проєктування роботів-маніпуляторів..	10
1.1 Роботи-маніпулятори як об’єкти проєктування	10
1.2 Технології проєктування роботів-маніпуляторів.....	18
1.3 Автоматизація процесів проєктування.....	22
1.4 Технології проєктування сенсорної системи..	24
1.5 Висновки до розділу 1.....	27
2 Розробка системних рішень задачі.....	29
2.1 Постановка задачі проєктування сенсорної системи.....	29
2.2 Обґрунтування вибору та опис датчиків.....	30
2.3 Опис функціональної частини датчиків та плати ARDUINO UNO....	36
2.4 Обробка сигналів з датчиків	52
2.5 Висновки до розділу 2	55
3 Розробка апаратно-програмного забезпечення задачі	58
3.1 Опис роботи робота.....	58
3.2 Програмно-апаратне забезпечення сенсорної системи	65
3.3 Результати експериментів	85
3.4 Безпека життєдіяльності та охорона праці.....	88
3.5 Висновки до розділу 3	89
Висновки.....	91
Перелік джерел посилання	95
Додаток А Презентація.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АТ – автоматизована технологія.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВС – вимірювальна система.

ДП – датчик положення.

ІС – інформаційна система.

ІЧ – інфрачервоний.

ОМ – об'єкт маніпулятора.

ПЗ – програмне забезпечення.

ПК – персональний комп'ютер.

ПКП – пропріоцептивні датчики.

ПРМ – промисловий робот-маніпулятор.

РЗ – робоча зона.

РМ – робот-маніпулятор.

РМСП – робот-маніпулятор спеціального призначення.

СС – сенсорна система.

ТД – тактильний датчик.

УЗД – ультразвуковий датчик.

ШІ – штучний інтелект.

ШНМ – штучна нейронна мережа.

ВСТУП

Сучасні робототехніка та сенсорика ґрунтуються на методах механіки, електроніки, мехатроніки та інших науках. Роботи в наш час призначені для заміни людини при виконанні рутинних, брудних, небезпечних робіт, а також там, де потрібна висока точність та повторюваність. Область застосування та перспективи сучасної робототехніки виключно широкі: роботи вже застосовуються у побуті, у сфері обслуговування людей, у медицині, сільському господарстві, при виконанні багатьох інших видів робіт. Основою взаємодії з роботів з людьми є людино-машинні інтерфейси, сучасні види яких включають не тільки традиційне подання візуальної інформації та звичні органи управління, а й перспективні інтерфейси на основі аналізу електричної активності мозку та м'язів, із зворотними силомоментними зв'язками. Сучасна сенсорика, своєю чергою, є комплексною цифровою технологією, що включає у собі як методи виміру фізичних величин, так і методи обробки сенсорної інформації.

Основними ринковими драйверами розвитку вважатимуться:

- поступове зниження вартості виробництва та комплектуючих, що веде до зниження порога входу в галузь;
- зниження часу окупності роботів за рахунок оптимізації процесів проєктування робототехнічних систем від компонентної бази (включаючи електронну компонентну базу) до систем загалом;
- збільшення зростання ринку сервісної робототехніки, з найбільшим поширенням у споживчому сегменті, індустрії розваг, медицині;
- стрімка роботизація азіатської економіки (за підсумками 2021 року Китай та Японія лідирують за обсягами постачання промислових роботів);
- збільшення конкурентності на ринку робототехніки;
- повсюдне поширення інтернету, що полегшує збирання, поширення та аналіз інформації, що надходить у хмарні сервіси для роботів.

Основні ринкові тенденції розвитку:

- розширення переліку областей застосування роботів та сенсорних засобів;
- збільшення кількості стартап-компаній у сфері робототехніки та сенсорики;
- природне зменшення населення у розвинених країнах, що призводить до підвищеного попиту на робототехнічні рішення;
- збільшення кількості проєктів, які публікують свій програмний код у вільному доступі;
- зниження собівартості сенсорних засобів та систем обробки інформації;
- підвищення поширення екзоскелетів, активних засобів для індивідуальної механотерапії, реабілітації та відновлення втрачених локомоцій.

Метою даної роботи є проєктування сенсорної системи маніпуляційного робота спеціального призначення.

Для досягнення мети у роботі необхідно:

- провести огляд сучасного стану проблеми проєктування роботів-маніпуляторів, розглянути особливості роботів-маніпуляторів як об'єктів проєктування;
- запропонувати системні рішення щодо сенсорної системи маніпуляційного робота для визначення відстані до об'єктів оточуючого середовища та визначення сили захвату маніпулятора;
- запропонувати апаратно-програмні рішення на основі плати ARDUINO для сенсорної системи маніпуляційного;
- розробити макет маніпуляційного робота та провести його дослідження;
- оформити кваліфікаційну роботу відповідно до вимог стандарту, методичних вказівок, навчального посібника та положення про протидію академічному плагіату [1-4].

1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ПРОЄКТУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

1.1 Роботи-маніпулятори як об'єкти проєктування

Роботом-маніпулятором прийнято називати тип промислових роботів із функціями, аналогічними функціям людської руки (рис. 1.1). Маніпулятор може бути як самостійним пристроєм, так і перебувати у складі складнішого роботизованого комплексу. Сегменти маніпулятора мають з'єднання, що допускають обертальний (наприклад, у шарнірного робота) або поступальний (лінійний) рух [5].



Рисунок 1.1 – Промисловий робот маніпулятор

За своїм пристроєм роботи нерідко копіюють людину. Це стосується тієї частини роботів, яким важливо імітувати людські дії та поведінку –

індустріальним машинам нейронауки не такі важливі.

Серед усіх застосувань промислової робототехніки роботи-маніпулятори тримають безперечно лідируючу позицію за кількістю використання.

Найважливішою конструктивною особливістю робота-маніпулятора є можливість виконання робіт за умов, недоступних для людини в принципі. Крім того, промислові роботи та маніпулятори дозволяють суттєво підвищити загальний рівень якості та складності виробленої продукції, а також знизити собівартість її виготовлення. Понад те, завдяки використанню таких машин істотно зростає продуктивність праці для підприємства.

Важливу роль грає і те що, що у разі використання людської праці дуже високий ризик помилки. Зокрема, навіть найкращі співробітники з величезним досвідом фізично не здатні виконати нарізку матеріалу, забезпечивши абсолютно точні розміри кожної частини. У свою чергу, з точки зору функціональності оснащеного маніпулятором робота подібна процедура може вважатися найпримітивнішою.

Роботизована рука, що є маніпулятором подібного агрегату, дозволяє виконувати цілу низку найпростіших операцій, включаючи захоплення об'єкта та його переміщення у вказану точку. Перші моделі подібних механізмів не передбачали наявності датчиків і були розраховані на виконання однієї заданої команди. Для забезпечення виконання цієї функції механізм повинен був розташовуватися перед цільовим об'єктом, з яким і здійснювалася взаємодія.

Наступні покоління агрегатів відрізнялися наявністю найпростіших датчиків. З розвитком науки телематики відбувалося перетворення роботів-маніпуляторів на найскладніші пристрої, здатні адекватно аналізувати навколишнє оточення та приймати відповідні рішення. Серйозні перетворення зазнавала і рука, що отримувала збільшену кількість ступенів свободи і включала в себе не два-три, а цілий набір ланок.

Маніпулятором прийнято називати спеціальний пристрій, за

допомогою якого виконується переміщення різних об'єктів і предметів у просторі. До складу обладнання входить певна кількість ланок двох типів, що працюють за рахунок пневматичного або гідравлічного приводу. Одна категорія ланок маніпулятора відповідає за поступальні рухи, друга за переміщення під кутом. Вузли, які працюють за рахунок гідравліки, характеризуються більш високою потужністю. Маніпулятор складається з пристрою, який забезпечує поступальний рух, та механізму, необхідного для обертання. Їхнє поєднання дає рухливість. У ланках найчастіше встановлюються приводи пневматичні, гідравлічні чи електричні. Захопний пристрій також входить у маніпулятор і є подобою людських рук з механічними пальцями.

Рука-маніпулятор, сконструйована за прикладом людської робочої кінцівки, передбачає наявність високотехнологічного механізму захоплення, що здійснює роботу з деталями та об'єктами (рис. 1.2). Розглянемо докладніше цей та інші параметри.

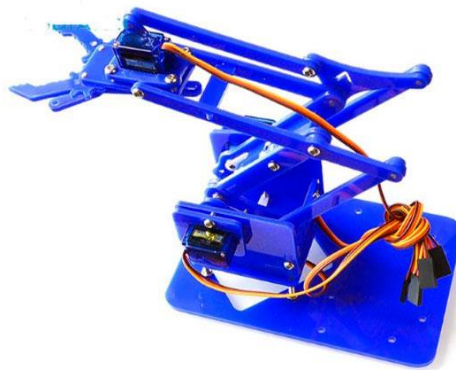


Рисунок 1.2 – Рука-маніпулятор

Кожен маніпулятор має власну РЗ (зону обслуговування). Ця зона є об'ємною фігурою у вигляді сукупності точок простору, до яких може дотягнутися схват у всіх крайніх положеннях. Конфігурація робочої зони визначається числом ступенів рухливості, типом кінематичних пар, їх взаємною орієнтацією і відносними розмірами ланок руки. Типам робочих

зон відповідають різні системи координат, у яких здійснюється рух схоплення маніпулятора: прямокутна, циліндрична та сферична.

Рух руки по кожній координаті здійснюється за допомогою трьох основних механізмів: приводу, передавального механізму та виконавчого пристрою. Останнім може бути схват, кисть, рука та маніпулятор загалом. Як приводи використовуються гідродвигуни, пневмодвигуни, електродвигуни та комбіновані приводи.

Конструкції передавальних механізмів відрізняються великою різноманітністю і містять циліндричні або конічні зубчасті, черв'якові, ланцюгові, тросові, важільні.

Зростаюча потреба у зниженні експлуатаційних витрат на підприємствах є основною рушійною силою світового ринку робототехніки. Зниження витрат може бути досягнуто за рахунок зменшення помилок у виробничому процесі, втрат сировини та кількості нещасних випадків, підвищення технологічної гнучкості та продуктивності підприємства, покращення умов праці та ступеня безпеки працівників. І в цьому всім допомагають роботи, які використовуються в більшості галузей промисловості через їхню здатність з високою точністю виконувати складні завдання, що повторюються, навіть у небезпечних умовах.

Ще до пандемії COVID-19 сектори роздрібної торгівлі та логістики відходили від традиційних покупок у магазинах, оскільки дедалі більше споживачів стікалися в Інтернет для купівлі товарів. У період із квітня 2019 року по квітень 2020 року інтернет-продаж у ЄС зріс на 30%. Аналогічні темпи зростання демонстрували США, Великобританія та Китай¹. Це спричинило збільшення попиту автоматизацію складів, включаючи робототехніку. Очікується, що до 2023 року інвестиції в автоматизацію складу зростатимуть із середньорічним темпом зростання в 12,6% за виключно високого попиту на роботів-збирачів, середньорічний темп зростання яких становитиме 98,7%. Крім того, зрушення у світовій торговельній політиці, зміна характеру споживчого попиту на товари на

замовлення і бажання покупців отримувати замовлення на наступний або навіть того ж дня вже змусили далекоглядних операторів переосмислити свої підходи [6].

Пандемія прискорила впровадження цифрових технологій у всі сфери життя. 41% керівників компаній із 45 країн готуються працювати у новій посткризовій реальності, інвестуючи у прискорення автоматизації бізнесу. Стійкий розвиток компаній та до пандемії було пов'язане з цифровими технологіями. Автоматизація дає бізнесу безліч переваг, але важливо і те, що використання машин знижує ризики. Один із них — брак робітників. Влітку 2019 року уряди РФ та США майже одночасно забили на сполох — в обох країнах спостерігається беспрецедентний дефіцит кадрів. Працювати на заводах, будувати та підтримувати існуючу інфраструктуру скоро буде нікому, тому автоматизації рутинної брудної важкої праці виправдана як ніколи [7].

Завдяки розвитку технологій штучного інтелекту автоматизація, яка раніше широко застосовувалася в автомобілебудуванні, за останні п'ять років захопила нові галузі економіки. В електронній промисловості, сільському господарстві та сфері послуг людей замінюють роботи [8].

Впровадження цифрових технологій необхідне, і рівень готовності країн до автоматизації різна. На думку зарубіжних аналітиків, вирішальне значення в успіху цифровізації економіки відіграватимуть три фактори:

- здатність системи освіти постачати на ринок необхідних кваліфікованих спеціалістів;
- готовність соціальних інститутів адаптувати до змін людей старшого покоління, які втратять роботу та будуть змушені освоювати нову спеціальність;
- рівень фінансування науково–технічних розробок у країні.

На сьогодні промислові роботи використовуються та будуть використовуватися подалі в таких сферах промисловості:

- обробна промисловість;

- будівництво та демонтаж;
- сільське господарство;
- гірничодобувна промисловість;
- логістика;
- сервіс у громадських місцях;
- клінінг;
- інспекція та технічне обслуговування;
- аварійно–рятувальні та охоронні системи;
- екзоскелети;
- медицина;
- армія;
- кіноіндустрія.

Види промислових роботів-маніпуляторів:

– програмні – це прості та надійні пристрої, які використовуються на промислових об'єктах. Всі дії при цьому заздалегідь запрограмовані, і робот автоматично повторює їх. Управління у разі можливо як з допомогою персонального комп'ютера, і з допомогою логічного контролера.

– адаптивні – сучасні моделі, оснащені сенсорами та датчиками. Система здійснює оцінку навколишнього оточення та приймає відповідне рішення про виконання тієї чи іншої операції.

– інтелектуальні – удосконалені робототехнічні комплекси із задатками штучного інтелекту. Відрізняються високою гнучкістю, функціональністю та надійністю.

Типи роботів маніпуляторів розрізняють також за конструктивним виконанням. У виробничій сфері зустрічаються як рухливі, і стаціонарні. Перші відрізняються мобільністю та функціональністю, останні надійністю та можливістю безперебійно виконувати одне й те саме завдання.

За типом силового приводу можна виділити електромеханічні, пневматичні, гідравлічні та комбіновані. За характером програмування виділяють контурні, позиційні та комбіновані. Додатково їх можна поділити

по вантажопідйомності на надлегкі, легкі, середні та важкі.

Впровадження автоматизації у виробничі процеси значно спрощують багато процедур. Керівники виробничих об'єднань відзначають безперебійність та високу продуктивність за рахунок використання робототехніки. Виробничі роботи-маніпулятори можуть бути оснащені різними видами маніпуляторів залежно від оснащення об'єкта та побажань замовника.

Переваги застосування робототехніки:

- робот маніпулятор здатний забезпечувати максимально високий рівень точності виконання будь-якої операції і, як результат, збільшення якості продукції;
- можливість застосування технологічного обладнання 365 днів на рік, у три зміни;
- оптимізація експлуатації виробничих приміщень;
- швидка окупність;
- відсутність впливу людського фактору під час виконання монотонних робіт, що потребують підвищеної точності.

На сьогоднішній день роботехніка стала доступна не лише великим заводам, а й середнім виробничим підприємствам. Щодо експертів, то вони виділяють вісім причин інвестування в цю галузь виробництва:

Зменшення витратків. Застосування промислових роботів надає можливість зменшити накладні та прямі витрати, що дозволить суттєво підвищити конкурентоспроможність продукції, що випускається [5].

Наприклад, таке використання дає чудовий привід економити на електричній енергії. Відключивши непотрібне освітлення, можна заощаджувати до 25% електроенергії, оскільки машини здатні з легкістю виконувати свою роботу навіть в умовах слабкого освітлення, а сьогоднішні оцінки потенційної економії свідчать про те, що можна знизити витрати на 9% зі зменшенням температури опалювального приладу всього на один градус [6].

Окремо слід зауважити, що механізми дозволяють виключити витрати, пов'язані з робітниками. Причому це пов'язано не лише із заробітною платою, а й додатковими витратами, пов'язаними із навчанням, забезпеченням безпеки адміністрації та співробітників.

Підвищення якості продукції. Інтелектуальний механізм завжди допоможе Вам підтримати незмінно високий рівень якості продукції, оскільки він не втомиться, не стане розсіяним від монотонної та однотипної роботи. Підвищена точність обробки продукції, здатна забезпечити продукції, що випускається незмінно високу якість.

Поліпшення якості роботи працівників конкретного підприємства. З'являється можливість значно покращити умови праці працівників. Тепер людям не доведеться працювати в небезпечних умовах, які пов'язані, наприклад, із сильною запиленістю та високими температурами. Крім того, освоюючи роботу, працівники отримають корисні нові навички, а їхня робота стане більш цікавою.

Підвищення обсягів виробництва. Робота в нічні зміни та вихідні з мінімальним контролем, що може забезпечити суттєве зростання виробництва. На сьогоднішній день роботи програмуються на обробку інноваційних продуктів в автономному режимі. Саме це дає можливість забезпечити безперервне виробництво. Наприклад, складальні роботи, що використовуються в Європі, в меблевій промисловості, дозволяють збільшити продуктивність в десятки разів.

Зниження кількості відходів виробництва. Кожен виробник отримує відмінну можливість суттєво покращити якість продукції. Таким чином, буде отримано більше товарів, що відповідають кожній вимозі, а також зменшено кількість поломок. З продукцією, що випускається на такому високому рівні, Ви отримаєте можливість отримувати максимальний прибуток [7].

Гнучкість організації. Застосування робототехнічних комплексів значно підвищує гнучкість організації виробництва. Якщо запрограмувати робота на виконання необхідних процесів, то Ви отримаєте можливість легко

перемикати робота з одного завдання на інше. Саме це сприяє підвищенню рентабельності інвестицій завдяки застосуванню робототехніки у виробництві різноманітних продуктів.

Збільшення безпеки праці. Механізми можуть взяти на себе важку, неприємну чи небезпечну для здоров'я роботу. За допомогою цих пристроїв, виробники зможуть знизити ймовірність нещасних випадків, які викликані контактом зі верстатами та іншим виробничим потенційно небезпечним обладнанням. Роботи здатні не допустити розвитку захворювань, пов'язаних з монотонною повторюваною роботою.

Зниження виробничого простору. Виробничі механізми розміщуються на стінах, стелажних системах і навіть на стелі. Його можна запрограмувати для функціонування в обмеженому просторі, що дозволить його власникам не переплачувати за використання зайвих квадратних метрів.

1.2 Технології проєктування роботів-маніпуляторів

Проєктування технічних систем – це процес створення нового виробу як його проєкту. Проєкт – це сукупність технічних документів, якими виріб може виготовлятися та експлуатуватися. Процес проєктування стандартизований і складається з наступних етапів: розробка технічного завдання, попереднє проєктування (розробка технічної пропозиції), ескізний проєкт та технічний проєкт (розробка повного комплексу технічної документації на виріб). Перші два етапи – це НДР, інші – ДКР. Процес проєктування виробу не закінчується технічним проєктом, а продовжується протягом усього його виробництва та експлуатації. У цей час виріб остаточно «доводиться», підвищується його технічний рівень шляхом коригування технічної документації [8].

Порядок та методи проєктування засобів робототехніки регламентуються комплексом нормативно-технічних документів, та методичні вказівки (за технічними вимогами, методами випробувань та

правил приймання, з оцінки економічної ефективності). Аналогічні документи є і за основними компонентами роботів – пристроями управління, приводами, захватним пристроєм, а також навколороботним оснащенням. При розробці технічних вимог до робіт і подальшому аналізі шляхів їх реалізації необхідно досліджувати взаємодію робота з іншим працюючим спільно технологічним обладнанням та об'єктами маніпулювання з метою виявлення можливостей за рахунок досить несуттєвих їх змін помітно полегшити вимоги до роботи і тим самим отримати загальну техніко-економічну вигоду всієї системи спільно працюючих машин. Найбільшого техніко-економічного ефекту при цьому може бути досягнуто, коли все це обладнання проєктується одночасно з роботом. Найчастіше це має місце під час проєктування роботів, що виконують основні технологічні операції.

Одночасно з тією ж метою необхідно досліджувати можливості створення так званої навколороботної оснастки та інших засобів упорядкування та спрощення зовнішнього середовища робота. Наведено якісну залежність вартості власне робота і вартості його разом з такими засобами у функції від ступеня впорядкування зовнішнього середовища (рис. 1.3). Як випливає з цих графіків, існує певна оптимальна для кожної конкретної задачі ступінь упорядкування зовнішнього середовища, при якій досягається мінімальна сумарна вартість робота та навколороботного оснащення (пристрою подачі та позиціювання об'єктів маніпулювання, їх маркування тощо) [9].

Тільки після подібного розгляду взаємодії робота із зовнішнім світом та оптимізації інженерних вимог до роботи та об'єктів даної сфери належить переходити до проєктування саме робота. фундаментальний принцип тут, як і при конструюванні інших промислових систем, у застосуванні принципу декомпозиції, розділення всіх завдань на кілька більш елементарних підзадач.

Робот, як і інші засоби робототехніки, складається з двох ключових функціональних частин – виконавчих систем (маніпулятори та пристрої

пересування) та пристрої управління ними з сенсорикою. Останнє у свою чергу розпадається на апаратну та програмну частини. Відповідно до цього на першому етапі проектування після складання функціональної схеми робота має бути проведене його розбиття на три зазначені частини – механічну систему, апаратуру управління та програмне забезпечення, проектування яких потребує спеціалістів різного профілю. В основі вирішення цього завдання лежить поділ функцій робота та технічних вимог щодо нього між цими трьома його взаємозалежними частинами. Це завдання неоднозначне і найбільш відповідальне, оскільки його вирішення значною мірою визначає результат усієї подальшої роботи зі створення робота [10].



Рисунок 1.3 – Вартість робота та навколороботного оснащення

При розподілі функцій робота між названими трьома його частинами насамперед виділяють функції, які повністю або переважно визначаються однією з цих частин і відповідно приписуються їм. (Наприклад, вантажопідйомність та геометрія робочої зони визначаються механічною системою, параметри енергоживлення та діапазон температури зовнішнього

середовища суттєві в основному для апаратури управління, мова програмування має значення лише для програмного забезпечення.

Інші функції необхідно оптимально розподілити між частинами робота на підставі певних критеріїв. При цьому слід враховувати наявність взаємовпливів між деякими з цих функцій, що додатково ускладнює завдання і може призвести до того, що локальне поліпшення характеристик однієї з частин робота погіршить ефективність робота в цілому. Наприклад, відомий взаємозв'язок точності та швидкодії не дозволяє незалежно розподіляти вимоги до кожного з цих параметрів між частинами робота.

Основна особливість і складність у проектуванні роботів – це обмежені можливості декомпозиції на частини, що автономно проектуються, внаслідок їх взаємопов'язаності при визначенні низки основних характеристик робота і необхідності при цьому системного підходу до роботи як до єдиного цілого. Вище вже йшлося про такий системний підхід у зв'язку з необхідністю розгляду робота разом з об'єктами зовнішнього середовища.

При проектуванні перших роботів спочатку створювалися їх виконавчі устрою, та був їм як заданих об'єктів управління проектувалися устрою управління. Однак надалі в міру вдосконалення роботів і прагнення досягнення гранично високих параметрів виконавчі пристрої і пристрої управління стали проектуватися спільно як єдина система на основі загальних критеріїв. Це дозволяє забезпечити оптимальний розподіл технічних вимог до роботи між цими його частинами. Характерний приклад – завдання мінімізації маси маніпуляторів. Великі можливості тут дає перехід від традиційного розрахунку механічної частини на жорсткість з обмеженням пружних деформацій ланок до розрахунку лише міцність зі зняттям цих обмежень. Це дозволяє приблизно втричі зменшити масу механічної системи маніпуляторів. Однак гнучкість конструкції, що виникає при цьому, і викликана нею коливальність істотно ускладнюють завдання управління рухом таких маніпуляторів і відповідно технічні вимоги до пристрою управління.

Децентралізація управління до конструктивного вбудовування пристроїв управління окремими частинами механічної системи в ці частини. Це дозволяє здешевити всю систему в цілому, підвищити її надійність та швидкодію за рахунок скорочення зв'язків, розпаралелювання та ієрархічної побудови інформаційних процесів та процесів управління. Для таких систем розроблено різні варіанти структур із сильними та зі слабкими зв'язками

Необхідність забезпечення значно більшої надійності управління, ніж зазвичай вважається прийнятним інших подібних типів об'єктів. Це викликано тим, що у цих системах відмова управління, зазвичай, веде до аварії всієї системи.

Широке застосування комп'ютерного моделювання, без чого такі складні системи, як правило, не можуть бути створені на сучасному науково-технічному рівні.

1.3 Автоматизація процесів проєктування

Сьогодні автоматизовані системи проєктування розробляються та застосовуються для всіх етапів життєвого циклу робототехнічного засобу. Для роботів існує модель життєвого циклу, що включає етапи:

- проєктування робота;
- підготовка виробництва;
- виробництво та реалізація;
- експлуатація;
- утилізація.

Залежно від завдань розрізняють такі різновиди систем автоматизації:

- CAE – Computer Aided Engineering (автоматизовані розрахунки та аналіз);
- CAD – Computer Aided Design (автоматизоване проєктування);
- CAM – Computer Aided Manufacturing (автоматизована технологічна підготовка виробництва);

- PDM – Product Data Management (управління проєктними даними);
- ERP – Enterprise Resource Planning (планування та управління підприємством);
- MRP-2 – Manufacturing Requirement Planning (планування виробництва);
- MES – Manufacturing Execution System (виробнича виконавча система);
- SCM – Supply Chain Management (управління ланцюжками поставок);
- CRM – Customer Relationship Management (управління взаємовідносинами із замовниками);
- SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерське управління виробничими процесами);
- CNC – Computer Numerical Control (комп'ютерне числове управління);
- S&SM – Sales and Service Management (управління продажами та обслуговуванням);
- CPC – Collaborative Product Commerce (спільний електронний бізнес).

Серед засобів САПР виділяють проєктуючі та обслуговуючі підсистеми. Проєктуючі підсистеми виконують проєктні процедури, наприклад, підсистеми тривимірного моделювання, аеродинамічного дослідження, моделювання динаміки, виготовлення конструкторської документації, трасування друкованих плат. Обслуговуючі підсистеми забезпечують функціонування підсистем, що проєктують.

Існує сім видів забезпечення САПР:

- технічне, що включає апаратні засоби;
- математичне, що поєднує математичні методи, моделі та
- алгоритми для виконання проєктування;
- програмне, що представляється комп'ютерними програмами САПР;

- інформаційне, що складається з бази даних, що використовуються при проектуванні;
- лінгвістичне (мови програмування та обміну даними);
- методичне, що включає різні методики проектування;
- організаційне, що представляється штатними розкладами, посадовими інструкціями тощо.

Залежно від області застосування використовуються такі групи САПР:

- до застосування у галузях загального машинобудування.
- для радіоелектроніки.
- у галузі архітектури та будівництва.

Також САПР класифікуються за типом базової підсистеми:

- на базі машинної графіки та геометричного моделювання, що використовуються в процесі конструювання, визначення просторових форм та взаємного розташування об'єктів;
 - з урахуванням баз даних, у яких на невеликому обсязі математичних розрахунків обробляється великий обсяг даних;
 - з урахуванням конкретного прикладного пакета, які є автономно використовуваними пакетами, наприклад, програми логічного проектування з урахуванням мови VHDL, математичні пакети типу MathCAD, Matlab, Maple;
 - комплексні САПР, що складаються із сукупності систем попередніх видів.

1.4 Технології проектування сенсорної системи

Сенсорні системи призначені для отримання інформації про довкілля та положення робота в ній. В окремих системах роботів є також різні чутливі пристрої – датчики, необхідні для функціонування цих систем (наприклад, датчики зворотного зв'язку в приводах, вторинних джерелах живлення тощо). Ці пристрої, орієнтовані внутрішні параметри робота, не специфічні йому загалом і ставляться до сенсорним системам робота [11].

За властивостями і параметрами сенсорні системи можна розділити на наступні 3 групи:

- системи, дають загальну картину довкілля з наступним виділенням окремих об'єктів, значимих до виконання роботом його функцій;
- системи, що визначають різні фізико-хімічні властивості довкілля та її об'єктів;
- системи, що визначають координати розташування робота та параметри його руху, включаючи його координати щодо об'єктів зовнішнього середовища та зусилля взаємодії з ними.

До першої групи сенсорних систем належать системи технічного зору та різного типу локатори.

Друга група сенсорних систем найбільш різноманітна. Це вимірювачі геометричних параметрів, густини, температури, оптичних властивостей, хімічного складу тощо.

Третя група сенсорних систем визначає параметри, що належать до роботи. Це вимірювачі його географічних координат у просторі від супутникових систем до тих, що використовують магнітне поле Землі, вимірювачі кутових координат (гіроскопи), вимірювачі переміщення та швидкості, у тому числі й щодо окремих об'єктів довкілля аж до фіксації зіткнення з ними. У складі робота всі ці сенсорні системи орієнтовані на обслуговування 2 виконавчих систем – пересування та маніпуляційної. Це визначає і основні вимоги до сенсорних систем – дальність дії, точність, швидкодія тощо.

Сенсорні системи, що використовуються в системах пересування робота, поділяються на системи, що забезпечують:

- навігацію у просторі;
- безпеку руху (запобігання зіткненням з перешкодами та перекиданням на ухилах, попадання в неприпустимі для робота зовнішні умови тощо).

До сучасних систем часто входять розміщені у робочого органу

маніпулятора системи технічного зору та вимірювачі зусиль.

Важливим параметром сенсорних систем є дальність дії. За цим показником сенсорні системи роботів можна розділити на контактні, безконтактні, ближньої, далекої та над дальньої дії.

Контактні сенсорні системи використовуються для відчуття робочих органів маніпуляторів та корпусу (бампера) мобільних роботів. Вони дозволяють фіксувати контакт з об'єктами зовнішнього середовища (тактильні сенсори), вимірювати зусилля, що виникають у місці взаємодії (силомоментні сенсори), визначати прослизання об'єктів при їх утриманні захватним пристроєм, визначати розміри об'єктів (шляхом їх обмацування). Вони реалізуються за допомогою кінцевих вимикачів, герметизованих магнітокерованих контактів, на основі струмопровідної гуми «штучна шкіра» тощо [12].

Сенсорні системи ближньої дії забезпечують отримання інформації про об'єкти, розташовані в безпосередній близькості від робочого органу маніпулятора або корпусу робота, тобто на відстанях, порівнянних з їх розмірами. Такі безконтактні пристрої технічно складніші за контактні, але дозволяють роботу виконувати завдання з більшою швидкістю, заздалегідь видаючи інформацію про різні об'єкти до зіткнення з ними.

Сенсорні системи дальньої дії служать отримання інформації про довкілля обсягом всієї робочої зони маніпуляторів роботів і навколишнього середовища мобільного робота.

Сенсорні системи наддальньої дії застосовуються головним чином в мобільних роботах. До них належать різні навігаційні системи, локатори та інші сенсорні системи відповідної дальності дії. Ці пристрої знаходять застосування і в стаціонарних роботах під час взаємодії з рухомими об'єктами, щоб заздалегідь передбачати їхню появу в робочій зоні.

У безконтактних сенсорних системах для отримання необхідної інформації використовуються спеціальні сигнали, що випромінюються ними (оптичні, радіотехнічні, ультразвукові тощо) і природні випромінювання

середовища та її об'єктів. Залежно від цього розрізняють активні та пасивні сенсорні системи.

Активні сенсорні системи мають передавач, що випромінює первинний сигнал, і приймач, що реєструє прямий сигнал, що пройшов через середовище, або вторинний сигнал, відображений від об'єктів середовища.

Пасивні системи мають лише приймальний пристрій, а роль випромінювача грають самі об'єкти довкілля. Тому пасивні сенсорні системи технічно зазвичай простіше і дешевші за активні, але менш універсальні.

Сенсорні системи роботів можна розділити на системи з фіксованим напрямом сприйняття

1.5 Висновки до розділу 1

В оглядовій частині розглянуто роботи спеціального, які спеціалізуються на виконанні вузької множини специфічних задач та розробляються спеціально для робочих зон, в яких вони будуть відмінною заміною для людини.

Було проведено аналіз сучасної тенденції в робототехніці, були розібрані види та класифікація та вплив пандемії на сучасний світ. Через пандемію стала небезпечна будь-яка робота, яка пов'язана з контактами між людьми, на даному етапі, люди, які раніше не були готові втратити роботу, зараз не мають жодного вибору і змушені сидіти на самоізоляції, у той час як роботи стали їм благополучною заміною.

Так як ще до пандемії кількість покупок в інтернеті, купівлею роботів-пилосос, і оснащення роботів на виробництві вже зростала, зараз пандемія дала повну можливість роботизованим технологіям вступити в роботу, і прийняти більшість робочих процесів замість людей

З одного боку, це економніше, стало значно менше ризиків, покращилася продуктивність виробництва, але з іншого ракурсу люди назавжди можуть втратити не тільки роботи, а й професію в цілому.

Після обробки всього згаданого вище, можна дійти до висновку, наскільки зараз важлива робототехніка, від сенсорної системи до нейронаук, які дають можливість навчатися роботі, і самому адаптуватися до процесу його роботи, тим самим допомагаючи людям у неможливих для них середовищах роботи.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМНИХ РІШЕНЬ ЗАДАЧІ

2.1 Постанова задачі проектування сенсорної системи

Мета проектування сенсорної системи полягає в розробці такого варіанту її побудови, який би забезпечував отримання необхідної інформації про стан навколишнього середовища і власних пристроїв.

Завдяки цьому ми зможемо розраховувати відстань до об'єкта або обходити перешкоди.

Система Arduino – плата, яка поєднує всі необхідні компоненти, що забезпечують повний цикл розробки. Серце цієї плати – мікроконтролер. Він забезпечує керування всією периферією. Датчики, що підключаються до системи, дозволяють системі спілкуватися і взаємодіяти з оточенням: аналізувати, відзначати змінювати.

З урахуванням того, що US-100 має вбудовану термокомпенсацію, результати розрахунків за датчика будуть більш точними.

У режимі GPIO взаємодія з US-100 аналогічна роботі з HC-SR04 та іншими популярними датчиками. Алгоритм роботи для режиму GPIO наступний:

На вхід Trig подаємо сигнал високого рівня тривалістю 10 мкс.

Отримавши імпульс на вході Trig, датчик генерує серію із 8 ультразвукових коливань і встановлює високий рівень на виведенні Echo.

При отриманні ультразвукової хвилі датчик змінює рівень сигналу на виведенні Echo на низький. Таким чином, тривалість імпульсу, що вийшов, буде відповідати часу поширення ультразвуку до об'єкта і назад.

Arduino вимірює тривалість імпульсу на виведенні Echo і визначає відстань до об'єкта.

Оскільки резистори тензорного датчика включені за мостовою схемою, від пристрою відходять 4 провідники, що мають різне кольорове маркування. На два плечі моста подається опорна напруга, а з двох інших плечей

знімається вихідна напруга, яка подається на вхід операційного підсилювача мікросхеми НХ711. Підключення за кольорами проводів здійснюється таким чином:

- червоний – E+;
- чорний – E –;
- білий – A –;
- зелений – A+.

Метою задачі є збір макету та підключення плати Arduino Uno до живлення через підключення USB. Після того, як Arduino підключиться до живлення, приступаємо до підключення та збору всіх компонентів датчиків, з'єднуючи їх з платою, та закріплюючи в частинах робота, в яких вони повинні будуть використовуватись та написати код для обробки сигналу та виводу.

2.2 Обґрунтування вибору та опис датчиків

Ультразвуковий далекомір модуль HC-SR04 для Arduino це поміщені на одну плату приймач і передавач ультразвукового сигналу (рис. 2.1). Принцип дії HC-SR04 ґрунтується на добре відомому явищі ехолокації. Випромінювач формує акустичний сигнал, який відбившись від перешкоди, повертається до датчика та реєструється приймачем. Знаючи швидкість поширення ультразвуку в повітрі та час запізнення між випромінюваним та прийнятим сигналом, легко розрахувати відстань до акустичної перешкоди. На відміну від інфрачервоних далекомірів, на ультразвуковий датчик HC-SR04 не впливають джерела світла або колір перешкоди. Можуть виникнути труднощі щодо відстані до пухнастих чи тонких об'єктів. Окрім приймача та передавача на платі знаходиться необхідна обв'язка. Модуль має 4 виводи стандарту 2,54 мм:

- VCC – харчування +5 В;
- Trig (Т) – виведення вхідного сигналу;

- Echo (R) – виведення вихідного сигналу;
- GND – земля;
- вимірюваний діапазон – від 2 до 500 см;
- точність – 0,3 см;
- ефективний робочий кут – $<15^\circ$;
- кут вимірів: 30 градусів;
- напруга живлення – 5 Ст.
- сила струму спокою: <2 мА;
- робоча сила струму: 15 мА; $<15^\circ$;
- ширина імпульсу тригера: 10 мікросекунд;
- розміри: 45 мм x 20 мм x 15 мм.

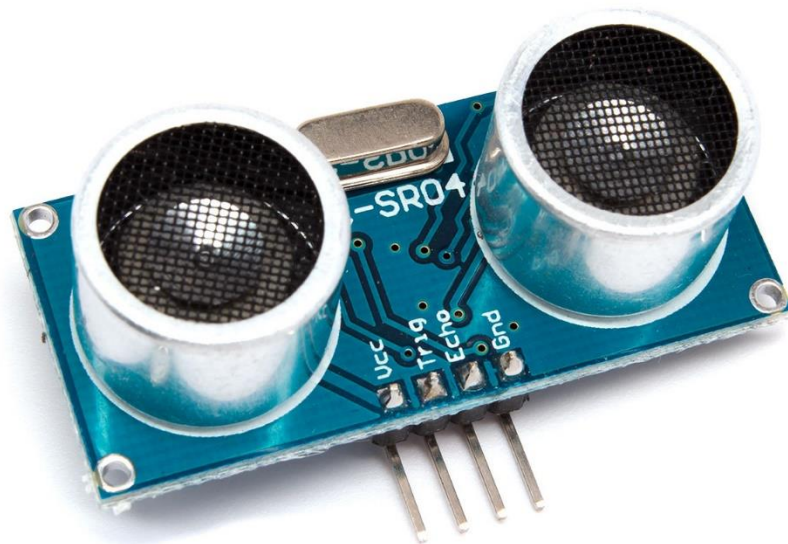


Рисунок 2.1 – Ультразвуковий датчик HC-SR04

Ультразвуковий датчик HY-SRF05, більш дорога покращена модель, порівняно з HC-SR04. Основна відмінність, як заявляє виробник, максимально можливе відстань виміру – 450 см (рис. 2.2). Крім того, на платі додано ще один вивід OUT, однак, функціональне призначення цього «виходу» встановити не вдалося [13].

Підключення далекоміра здійснюється за допомогою стандартних проводів. Для початку виміру необхідно подати на цифровий вхід логічну

одиницю на 10мкс. Після завершення вимірювання на вихід буде подана логічна одиниця на час, пропорційне відстані до об'єкта.

Розпінування виводу наступне: VCC – живлення TRIG – цифровий вхід ECHO – цифровий вихід GND – земля.

Специфікація:

- діапазон: від 2 до 700 см;
- точність: 0,3 см;
- до 15°;
- споживаний струм в очікуванні: до 2,2 мА;
- вихідний сигнал: GPIO;
- інтерфейс: цифровий;
- напруга живлення: +5 В;
- розмір (ДхШхВ): 45 x 20 x 18 мм;
- вага: 8 гр.



Рисунок 2.2 – Ультразвуковий датчик HC-SR05

Ультразвуковий модуль US-016 може реалізовувати функцію безконтактного діапазону від 2 см до 3 м, напруга живлення – 5 В, робочий струм – 3,8 мА, аналоговий вихід напруги підтримується, робота стабільна та надійна (рис. 2.3). Модуль може бути встановлений у різних діапазонах відповідно до різних сценаріїв застосування (максимальна відстань

вимірювання становить від 1 до 3 м.

US-016 може змінити відстань вимірювання на аналоговий вихід напруги, а вихідна напруга прямопропорційна відстані вимірювання. Робоча напруга складає 5 В.

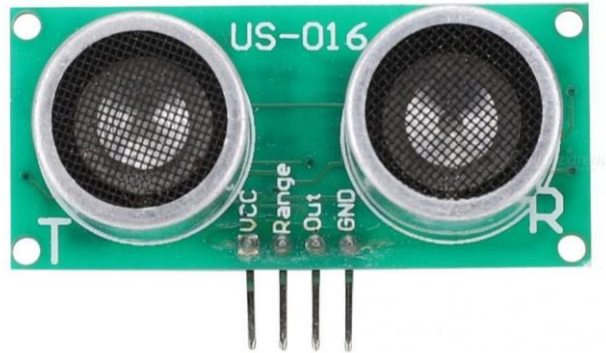


Рисунок 2.3 – Ультразвуковий датчик US-016

Специфікація:

- робоча температура: 0 – 70 °С;
- споживаний струм у спокої: менше 3.8 мА;
- кут: менше 15 град.;
- відстань, що вимірюється: 2 – 300 см;
- точність: 0,3 см + 1%.

Підключення:

- живлення – +5 В;
- налаштування діапазону вимірювань. При подачі живлення на Range високий рівень, активується діапазон 0..3 метра; при низькому рівні – діапазон – 0..1 метра; контакт Range підтягнутий до живлення, так що за умовчанням завжди буде діапазон 0..3 м;
- Out– аналоговий сигнал, прямо пропорційний виміряній дистанції;
- Gnd – земля.

Ультразвуковий датчик дальності US-015 ідеально підходить для різних додатків, які потребують виконання вимірювань між рухомими або стаціонарними об'єктами (рис 2.4). Звичайно він дуже популярний для

робототехніки, але також цей продукт може бути корисним в системах безпеки або якщо так побажаєте замінити інфрачервоним. Датчик відстані за допомогою гідролокатора; Ультразвуковий (значно вище за людський слух) імпульс передається від пристрою і відстань до мети визначається шляхом вимірювання часу [14].



Рисунок 2.4 – Ультразвуковий датчик US-015

Розпінування виводів наступне:

- VCC – живлення;
- TRIG – цифровий вхід;
- ECHO – цифровий вихід;
- GND – земля;

Специфікація:

- діапазон: від 2 до 700 см;
- точність: 0,3 см;
- до 15°;
- споживаний струм в очікуванні: до 2,2 мА;
- вихідний сигнал: GPIO;
- інтерфейс: цифровий;
- напруга живлення: +5 В;
- розмір (ДхШхВ): 45 x 20 x 18 мм;
- вага: 8 гр.

Модуль HX711 призначений для посилення сигналу від тензорезистора та передачі даних у мікроконтролер. Після калібрування модуля, можна

обчислити ступінь деформації тензорезистивного датчика зміни його опору, і розрахувати силу, прикладену до конструкції (вага).

Основою є 24 бітний аналого-цифровий перетворювач – мікросхема HX711, до якої підключається тензодатчик.

Для даної мікросхеми існує вже написана бібліотека названа аналогічно мікросхемі HX711, яка зможе обробляти сигнали з датчика і перетворювати деформації.

Розповсюджений тензометричний датчик YZC131 мостового типу на 20 кг. Застосовується визначення ваги зазвичай з модулем аналого-цифровим перетворювачем HX711. сам датчик виконаний як брусок із алюмінієвого сплаву з отвором у центральній частині. На бічні поверхні нанесені чотири тонкоплівкові тензорезистори, з'єднані за мостовою схемою, тому датчик має 4 виведення. Вихідний опір тензорезисторів усередині датчика пропорційно величині деформації вимірювального елемента [15].

Датчик виконаний з алюмінію , можна запитати його від Arduino.

Вимірювання будуть точними, оскільки мінімальне значення, що замірюється, дорівнюватиме близько 0,00006 г (теоретично).

Характеристики:

- діапазон вимірів: до 20 кг;
- матеріал датчика: алюміній;
- довжина дроту: 180 мм;
- робоча температура: $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- вага: 30 грам;
- розміри: $80 \times 13 \times 13$ мм.

Розпіновка для підключення на модуль HX711:

- білий A-;
- зелений A+;
- червоний E+;
- чорний E – на електричний сигнал.

Підводячи підсумки порівняння, ультразвуковий датчик нічим не

поступається аналогам, а за деякими характеристиками навіть краще. Але так, як вище були перераховані недоліки тензодатчиків (їх недолік – високі температури), в ультразвуковому датчику є дана перевага, яка так само допомагає і вимірювати температуру і передавати ці дані. Тензорезистивні датчики не такі успішні для Arduino як ультразвукові, і вибір особливо не великий, в основному тензодатчики спрямовані на більшу кількість вимірювальної сили стиснення що для цих видів маленьких роботів є невідвладним.

Основною перевагою подібних датчиків є:

- низька ціна та наявність комплектуючих у вільному продажу;
- проста та надійна конструкція, зібрати її можна самому;
- легка інтеграція у схему робота без необхідності її заміни;
- універсальність – датчик можна вбудувати у будь-яку техніку;
- висока точність роботи незалежно від умов довкілля;
- безпека випромінювання для людини та навколишнього середовища.

2.3 Опис функціональної частини датчиків та плати ARDUINO UNO

Arduino UNO є налагоджувальним комплексом, виконаним на базі мікроконтролера ATmega328 (рис. 2.5). Простіше кажучи – це звичайна плата, яка є «посередником» між користувачем та мікроконтролером, дозволяючи зручно чіплятися до його ніжок та завантажувати в нього прошивку прямо із середовища програмування. Крім того, плата наділена деякими додатковими функціями, які будуть детально розглянуті в цій статті. Продумане виконання, невеликий розмір, безліч бібліотек та прикладів коду дозволили Arduino UNO завоювати симпатії мільйонів розробників електронних пристроїв. На сьогоднішній день в Інтернеті можна знайти безліч проєктів, в яких ця плата взята за основу [16].



Рисунок 2.5 – Arduino UNO

Підключення до пін-мікроконтролера виконується через штиреві лінійки, розпаяні по обидва боки плати. Таким чином, розробник може зв'язати ATМega328 із зовнішніми пристроями за допомогою макетних проводів. Також під топологію Arduino Uno створено величезну кількість шилдів, які забезпечують додатковий функціонал шляхом їхнього каскадного включення (рис. 2.6).

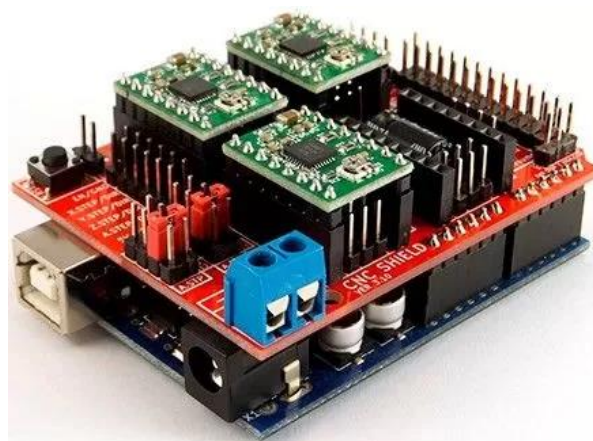


Рисунок 2.6 – Arduino Uno та шилд для ЧП

Такий підхід дозволяє значно прискорити процес створення прототипів тих чи інших пристроїв, перетворюючи рутинну роботу на невимушене складання електронного конструктора. Існують шилди з набором датчиків,

шилди-клавіатури, шилди-екрани, шилди-розширювачі портів, радіо-шилди та багато іншого.

У лівому верхньому куті розташований USB-роз'єм (рис. 2.7). Він виконує дві функції. Перша – організація каналу обміну даними між мікроконтролером та ПК та друга – запис прошивки в ATmega328 [17].

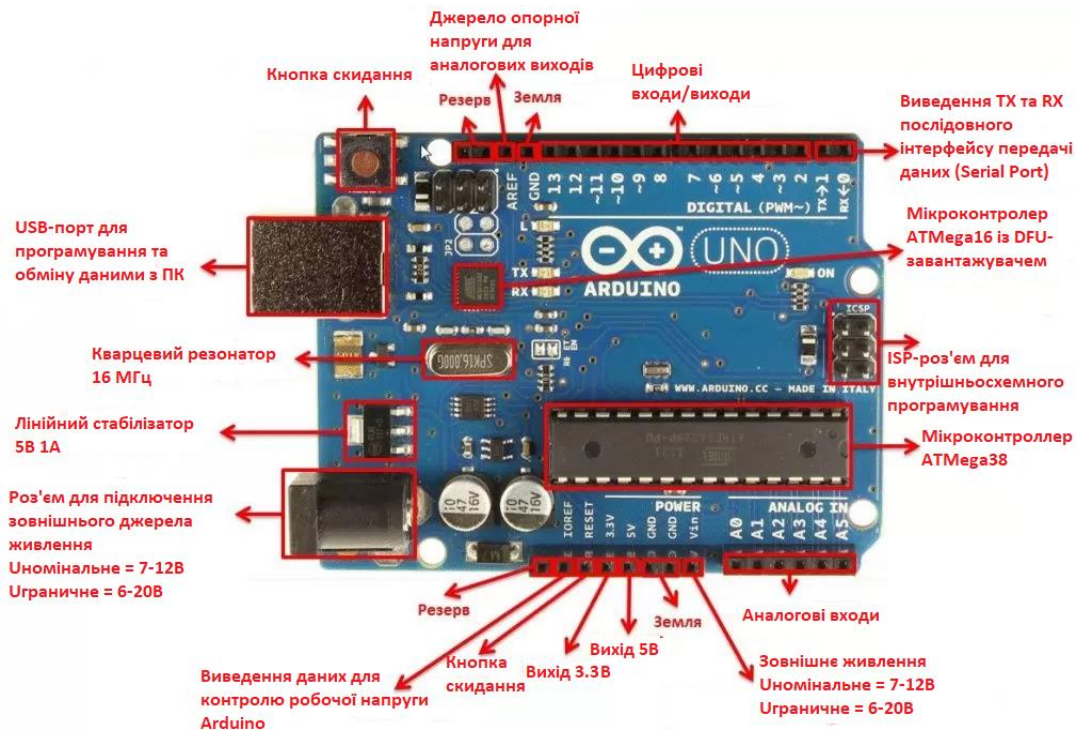


Рисунок 2.7 – Розпинування плати Arduino Uno

На апаратному рівні за зв'язок з комп'ютером відповідає модуль послідовного інтерфейсу передачі даних (UART), вбудований в ATmega328 і виведений на контактах 0(RX) та 1(TX) плати Arduino Uno. Однак просто передавати дані на комп'ютер не вийде. Посередником між ATmega328 та комп'ютером виступає окремо встановлений мікроконтролер ATmega16. Його спеціальна прошивка дозволяє визначити плату Arduino Uno як віртуальний порт, коли та підключається до ПК. Обмін даними супроводжуватиметься блиманням відповідних світлодіодів RX і TX, розташованих праворуч від ATmega16.

Що стосується запису прошивки, цей процес максимально спрощений і зводиться до натискання лише однієї кнопки в середовищі Arduino IDE. Така простота обумовлена тим, що Arduino Uno випускається із вбудованим прошитим завантажувачем, що працює за протоколом STK500. Отже, у зовнішньому програматорі немає потреби. Тим не менш, для любителів прошити контролер безпосередньо, на платі передбачена колодка ICSP (праворуч посередині) для внутрішньосхемного програмування в обхід завантажувача. Сам DFU-завантажувач знаходиться в ATmega16 і може бути переписаний шляхом внутрішньосхемного програмування через аналогічну колодку у верхній лівій частині плати [18].

Для того щоб плата Arduino Uno могла функціонувати, на неї необхідно подати харчування. Зробити це можна кількома способами, а саме:

- запитати безпосередньо через роз'єм USB за допомогою шнура для програмування або зв'язку з ПК;
- запитати від AC/DC адаптера з вихідною напругою 7–12В, підключившись через спеціальний роз'єм зовнішнього живлення.
- подати напругу 7–12В безпосередньо на вхід Vin, який розташований на штиревої колодки групи живлення. При цьому мінусовий контакт джерела живлення слід з'єднати з одним із контактів GND плати.

Також, плата Arduino Uno, надає користувачеві два контакти, на яких присутні напруги 5В та 3,3В. Ці напруги формуються вбудованими лінійними стабілізаторами при будь-якому з перерахованих вище способів живлення. Максимальний струм, здатний забезпечити вивід 3,3В дорівнює 50мА. Деякі «умільці» живлять плату через один з цих виводів, проте це загрожує виходом останньої з ладу, так як вхідна напруга йде в обхід стабілізатора і будь-який стрибок просто спалить мікроконтролер.

Вивід GND каже сам за себе і є загальним мінусом. Усі виводи GND на платі з'єднані між собою. Слід звернути увагу на те, що більшість дивних глюків у роботі з платою Arduino Uno пов'язані з тим, що розробник проєкту

забуває з'єднати вивід GND плати Arduino з відповідними выводами інших модулів і датчиків, які використовуються в проєкті.

Вивід IOREF, служить для інформування модулів або шилдів, що підключаються до Arduino Uno, про рівень бортової напруги. Якщо модуль, що підключається, має можливість працювати як з 5В, так і з 3,3В, то прочитавши значення на виведенні IOREF, він може вибрати для себе відповідний режим роботи.

Arduino Uno надає 14 цифрових та 6 аналогових виводів. Цифрові виводи мають нумерацію від 0 до 13 і можуть працювати двох напрямках, тобто. кожен із новачків може бути як входом, і виходом. Напрямок визначається функцією `pinMode()`. Крім цього, для кожного цифрового піна є можливість програмно включити резистор, що підтягує, з'єднаний з плюсом живлення мікроконтролера. Номінал підтягуючого резистора лежить у діапазоні 20–50кОм. Слід враховувати, що максимальна вихідна напруга одного виводу становить 5В, а максимальний струм – 40мА. Перевищення допустимого навантаження здатне вивести мікроконтролер із ладу [19].

Аналогові мають позначення А0–А5. Кожен із них з'єднаний із вбудованим 10-бітним АЦП мікроконтролера АТМega328. Це означає, що ми можемо одночасно вимірювати 6 напруг і отримувати 1024 значення для кожного каналу. За замовчуванням діапазон напруги, що вимірюється, дорівнює 0–5В, тобто. при 0В значення АЦП дорівнюватиме 0, а при 5В значення АЦП стане рівним 1023. Цей діапазон можна змінити подачею на виведення AREF своєї опорної напруги, яка стане верхньою межею вимірювання. Якщо в аналогових выводах немає необхідності, вони можуть використовуватися як цифрові.

Крім первинних функцій деякі виведення Arduino Uno мають додаткові:

– виводи 3, 5, 6, 9, 10 та 11 здатні формувати широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) за допомогою функції `analogWrite()`;

- виводи A4(SDA) і A5(SCL) представляють інтерфейс зв'язку протоколу I2C;
- виводи 10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK) забезпечують зв'язок SPI-інтерфейсу;
- виводи 0(RX) та 1(TX) – забезпечують послідовний інтерфейс передачі даних;
- до виводу 13 підключений smd-світлодіод, розташований на платі.

RESET – подача низького рівня цього виводу призведе до скидання мікроконтролера.

Ультразвуковий датчик відстані US-100 Ultrasonic Sensor. Як і в інші датчики серії US, працює за принципом ультразвукової ехолокації, тобто відстань до об'єкта визначається за часом, що пройшов між відправкою сигналу та отриманням луни.

Датчики – це датчики, які робот використовує зв'язку з довкіллям, обчислюючи фізичні величини навколо себе. Датчики працюють на основі теорії трансдукції, яка включає перетворення енергії з однієї форми на іншу, а отримані дані обробляються контролером, що дозволяє роботу діяти. Датчики роботів також відстежують стан робота і ситуацію, що його оточує.

Датчики роботів можуть бути механічними, хімічними або електричними за своєю природою, і робота кожного датчика заснована на принципі перетворення, що передає енергію від одного типу до іншого. Датчики робота дозволяють роботу гнучко реагувати на навколишнє оточення. Роботи можуть бачити і відчувати за допомогою датчиків, які дозволяють виконувати більш складні завдання.

Датчики роботів відстежують стан роботів та їхнє оточення, відправляючи електронні сигнали на контролери роботів. Датчики потрібні роботам, щоб контролювати себе. Роботам необхідні знання про місцезнаходження та рух їх тіл та частин, щоб контролювати їхню поведінку.

Характеристики датчиків робота допомагають нам визначити відповідний датчик для робота у різних ситуаціях.

Точність датчика відноситься до близькості зареєстрованого значення датчика до фактичного значення. Це часто формулюється як діапазон значень, наприклад, ± 1 мм. Подивившись на розділ калібрування нижче, часто можемо підвищити точність датчиків робота. Отже, точність – це різниця між вихідним сигналом датчика та фактичним значенням, тобто похибка = виміряне значення - справжнє значення.

Точність та дозвіл датчиків робота також можна підвищити шляхом їх калібрування. Окремий розділ присвячений дозволу. Калібрування – це метод порівняння характеристик датчика з деякими відомими величинами, який може бути виконаний продавцем або вами, і ця інформація може бути використана для створення рівняння, що зв'язує ці два параметри [20].

Незалежно від того, є робота датчиків робота лінійною чи ні, ця інформація стає корисною при подачі вихідних даних датчика на низькорівневий комп'ютер, який не може виконувати багато обчислень і складати рівняння калібрування. Калібрувальна крива визначає лінійність. У статичних умовах фіксована еталонна крива відображає амплітуду о/р залежно від амплітуди і/р і має схожість із прямою лінією чи лінійністю.

Важливою особливістю датчиків робота є те, що вони повинні давати однаковий результат щоразу, коли вимірюються одні й самі умови. Це забезпечує повторюваність датчиків.

У механічних системах, таких як роботи, деяка похибка в шестернях завжди викликає різне значення в залежності від напрямку руху (гістерезис) або зони нечутливості, коли датчики робота не виявляють будь-який рух.

Розрахунок конкретних датчиків робота має власний дрейф. Це особливо правильно для швидкісних гіроскопів. Вам знадобиться модель із низьким дрейфом (що менше дрейф, тим більше вона коштує), а також з можливістю фільтрації вихідного сигналу датчиків. Наприклад, робот нерухомий; Зрозуміло, що датчик не обертається, тому ви можете ігнорувати гіроскоп і робити незвичайні речі, наприклад, ігнорувати датчик і/або визначати швидкості дрейфу і застосовувати їх для підвищення

продуктивності датчика.

Температура складається із двох компонентів, які визначають характеристики датчиків робота. Перше – це можливість підтримувати температурний режим. Поширена проблема з багатьма датчиками полягає в тому, дрейфує/змінюється значення датчика при зміні температури чи ні. Також є два розділи другої специфікації температури:

- корисна температура – який мінімальний та максимальний діапазон температур датчика;

- температура зберігання – яка найнижча/найвища температура, за якої датчики можуть функціонувати, поки вони не будуть пошкоджені.

Поле зору – це важлива характеристика, яка вказує, яку область (зазвичай кутову) можуть бачити датчики робота. Часто згадуються горизонтальний (hFOV) та вертикальний (vFOV) компоненти. Наприклад, 70×30 градусів є hFOV \times vFOV відповідно.

Потрібно розуміти вихідну форму датчика. Наприклад, для аналогового виходу може знадобитися, який діапазон напруги або опору. Якщо виробництво перебуває на вищій стадії, переконайтеся, що у вас є відповідні вихідні дані. 4 – 20 мА, напруга, USB, Ethernet, послідовний порт і CAN – всі поширені типи виходів. Майте на увазі, що в камерах з гігабітним Ethernet часто використовується пакет jumbo (великий MTU), несумісний зі стандартами бездротового зв'язку 802.11 і потребує дротового з'єднання [21].

Щоб правильно запитати систему, необхідно знати скільки енергії споживають датчики робота і який діапазон напруги вони можуть приймати. Деякі датчики роботів будуть мати широкий діапазон, в той час як іншим буде потрібно лише один DC-DC для строго контрольованої вхідної напруги.

Датчики зіткнень представляє собою в основному прості кнопки на розмикання\замикання. Дуже проста реалізація і легкість підключення даного типу датчика, доступні розробникам-початківцям. При використанні з мікроконтролерами вимагає обробки із затримкою, для фільтрації ефекту брязкоту контактів. Можна використовувати в проєктах робототехніки для

зміни напрямку руху, при зіткненні даного датчика з якоюсь перешкодою, а також у саморобних верстатах як кінцевий вимикач (рис. 2.8).

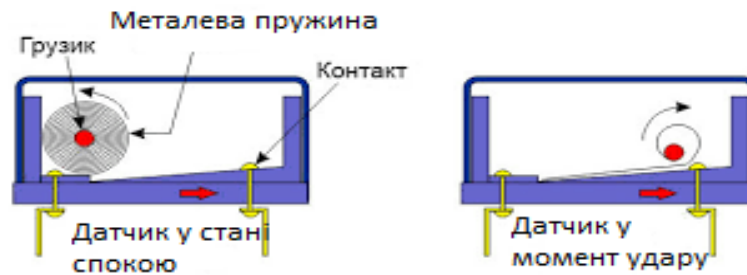


Рисунок 2.8 – Принцип роботи датчика зіткнень

Датчики нахилу використовується в роботах, де відповідно потрібно контролювати нахил, для підтримки рівноваги та щоб уникнути перевероту моделі на не рівній поверхні (рис. 2.9) наприклад гори. Існують як з аналоговими, так і цифровими інтерфейсами. Результат – значення градуса нахилу.

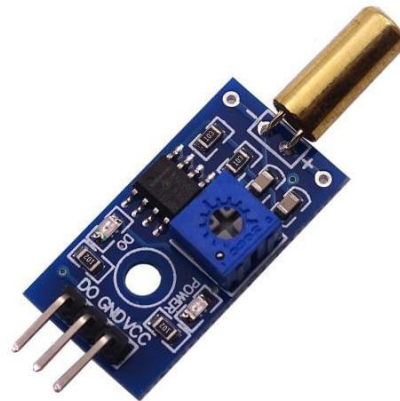


Рисунок 2.9 – Датчики нахилу

У оптичних типах датчиків використовують фізичні властивості напівпровідника при світловому впливі. Фоторезистор змінює опір, маємо результат ступеня освітленості. Фотодіод, на відміну від фоторезистора, має більш швидкий час спрацьовування. Датчик відбиття (випромінювач та приймач) дозволяє визначати білі або чорні ділянки на поверхні, що дозволяє

йому рухатися намальованою лінією або визначити близькість перешкоди. Сюди входять піроелектричні датчики, які дозволяють виявити та виміряти тепло, що виходять від вогню, людини або тварин, завдяки інфрачервоному випромінюванню.

Відеокамери – тип датчиків на сьогоднішній день дуже добре починає використовуватися завдяки зростанню технологій у сфері обробки зображень. Можна було додати їх до оптичних датчиків, але я вважав це окремим типом через складність та багатство можливостей. Це справжні очі робота. Застосувань йому достатньо: системи авторизації, розпізнавання образів, виявлення руху тощо.

Звукові датчики – датчики розпізнавання мови (майже вирішена задача на сьогоднішній день, потрібно значні ресурси для обробки та аналізу) або просто частот звуку (бавовна, свист). При високій частоті звуку висока точність визначення напрямку його джерело. Також при використанні ультразвукових датчиків можна виміряти відстані до перешкоди від декількох сантиметрів до 11 метрів (рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Звуковий датчик

До датчиків положення належать GPS (система глобального позиціонування), орієнтири (виконують роль маяка), гіроскопи (визначення кута обертання) (рис. 2.11).

LiDAR – пристрій для вимірювання відстані, в якому використовується лазер. Лазери висвітлюють об'єкти у атмосфері, та буть відбивають їх. Робот

використовує ці відображення для побудови карти свого оточення. LiDAR повідомляє роботам, що відбувається в їхньому середовищі і де воно знаходиться (рис 2.12).

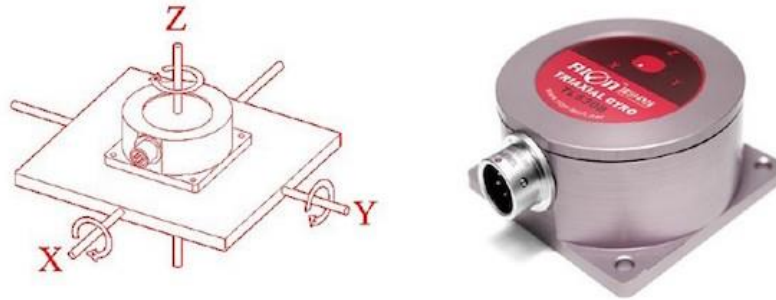


Рисунок 2.11 – Датчик положення



Рисунок 2.12 – Lidar

Ультразвуковий датчик застосовується виявлення і визначення відстані до об'єкта, і навіть контролю їх руху (рис. 2.13). Передавач випромінює звукові коливання, частота яких перевищує 20 кГц. Вони як хвилі «прошивають» простір, і, зустрічаючись з твердими предметами, відбиваються від нього і потрапляють у приймач датчика. Електронна схема підраховує відстань до об'єкта згідно з наступною формулою:

$$R = tV/2, \quad (2.1)$$

де R – відстань;

t – проміжок часу між відправкою і прийомом ультразвукової хвилі;

V – швидкість звуку.

Результат чисельника ділиться на два, тому що випромінювання проходить шлях спочатку від датчика до об'єкта, потім назад. Що стосується швидкості звуку, вона залежить від властивостей середовища, наприклад, у повітрі вона становить 331 м/с, а у воді – 1430 м/с.

Ультразвукові датчики використовують у конструкції як наземних, і підводних роботів. Зважаючи на те, що ультразвук відмінно проходить крізь воду, дим, вологе і запилене повітря, для застосування цих пристроїв немає жодних обмежень. Підводні роботи комплектуються не п'єзоелектричними, а магнітно-стрикційними випромінювачами – їх акустична потужність вища [22].



Рисунок 2.13 – Ультразвуковий датчик

Незалежно від будови ультразвукові датчики відмінно підходять виявлення об'єктів і визначення відстані до них, розрахунку рівня рідин і сипучих газів. Вони здатні виконувати ці завдання навіть у повній темряві незалежно від температури та вологості повітря, його задимленості та ступеня забруднення пилом. Хибні спрацьовування не відбуваються, оскільки приймач не реагує на чутний людиною звук, але може бути

налаштований на необхідну частоту (рис. 2.14).

Інфрачервоні датчики роботів виявляють інфрачервоні (ІЧ) промені, що випускаються об'єктом. Вони також можуть використовувати інфрачервоне світло для проєктування на цільовий об'єкт і отримання відбитого світла для визначення його відстані або близькості. Інфрачервоні датчики економічні та можуть відстежувати інфрачервоне світло на великій площі. Вони також працюють у режимі реального часу. Вони краще, ніж ультразвукові датчики, описують краї об'єкта та відрізняють одне від одного (рис. 2.15).



Рисунок 2.14 – Принцип роботи ультразвукового датчика

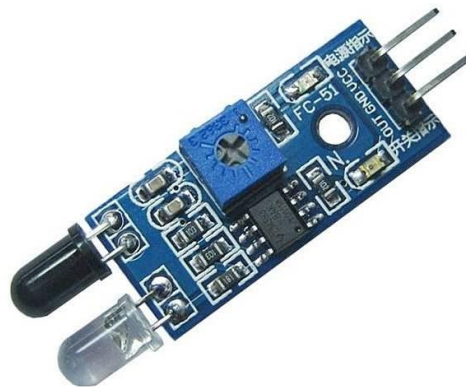


Рисунок 2.15 – Інфрачервоний датчик

У візуальній або оптичній навігації алгоритм комп'ютерного зору та оптичні датчики роботів, такі як лазерні далекоміри та фотометричні камери

з матрицями ПЗЗ, використовуються для отримання візуальних характеристик, необхідних для локалізації в навколишньому світі, хоча є інші різновиди систем навігації на основі зору та методів локалізації. Нижче наведено важливі компоненти кожного методу:

- уявлення про світ природи;
- моделі для зондування;
- алгоритми локалізації.

Найпростіший спосіб змусити робота вирушити у певне місце – просто направити його. Це можна зробити різними способами, у тому числі закопати індуктивну петлю або магніти в підлозі, намалювати лінії на підлозі або вставити маяки, маркери або штрих-коди у навколишнє середовище. У промислових сценаріях такі автоматизовані транспортні засоби (AGV) використовуються для транспортних завдань. Роботи можуть переміщуватись в приміщенні за допомогою систем внутрішнього позиціонування на основі ІМУ.

Датчики сили використовуються для визначення сил між основою датчика та чутливим шаром. Датчики FT, або датчики сили-моменту, сприймають як сили, так і моменти, що крутять. Зазвичай вони встановлюються безпосередньо перед робочим органом на руку робота. Датчики можуть використовуватися в широкому діапазоні додатків, і є недорогі аналогові датчики тиску до найпопулярніших 6-осьових датчиків FT.

Оскільки вони є тактильними датчиками, їх можна використовувати визначення сили ковзання. Однак їх можна використовувати визначення потужності. Враховуючи різноманітність доступних датчиків сили, як зазначено нижче, може бути складно вирішити, який вам потрібен.

- простий датчик тиску;
- п'єзоелектричний датчик;
- датчик на основі тензодатчика;
- ємнісні FT-датчики;

- ємнісні та резистивні гнучкі датчики сили;
- датчик температури у робототехніці.

Датчики температури використовуються для виявлення змін температури навколишнього середовища, і це засновано на ідеї, що зміна напруги матиме те ж значення температури, що й навколишнє для зміни температури. TMP35, TMP37, LM34, LM35 та інші – одні з найбільш часто використовуваних ІС датчиків температури.

Двовимірні візуальні датчики, тривимірні візуальні датчики, датчик сили або моменту, що крутить, і датчики виявлення зіткнень є найбільш широко використовуваними датчиками для промислових роботів. Деякі їх пояснюються так:

Допоміжний робот – це комп'ютер, який може відчувати, обробляти та виконувати дії у повсякденному житті людей з обмеженими можливостями та людей похилого віку. Протягом багатьох років роботи використовували ультразвукові гідролокатори як систему позиціонування [23].

Основна відмінність від недорогих аналогів US-015 і US-020 полягає в наявності вбудованої схеми термокомпенсації показань, а також можливості отримання даних від датчика через UART інтерфейс. При роботі через UART крім відстані можна також отримувати значення поточної температури (рис. 2.16).

Робочий елемент модуля – тензорезистор (дріт на гнучкій підкладці), яку приклеюють до предмета, що вимірюється. При деформації змінюється опір резистора, відповідно змінюється сигнал. Якщо відкалібрувати модуль та зібрати надійну конструкцію ваг на Arduino, то можна досягти гарної точності. Зазначимо, що сам датчик може бути розрахований на різну вагу від 2 кг до 50 Основу тензодатчика становить тензорезистор, оснащений спеціальними контактами, закріпленими передній частині вимірювальної панелі. У процесі вимірювання чутливі контакти панелі торкаються об'єкта.

Відбувається їх деформація, яка вимірюється і перетворюється на електричний сигнал, що передається на елементи обробки та відображення

вимірюваної величини тензометричного датчика. Залежно від сфери функціонального використання датчики різняться як у типах, і за видами вимірюваних величин. Важливим фактором є потрібна точність виміру (рис. 2.17).

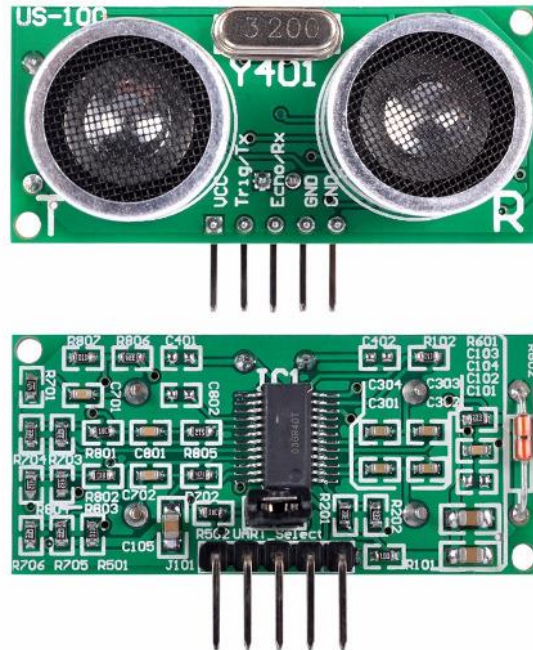


Рисунок 2.16 – Ультразвуковий датчик відстані US-100

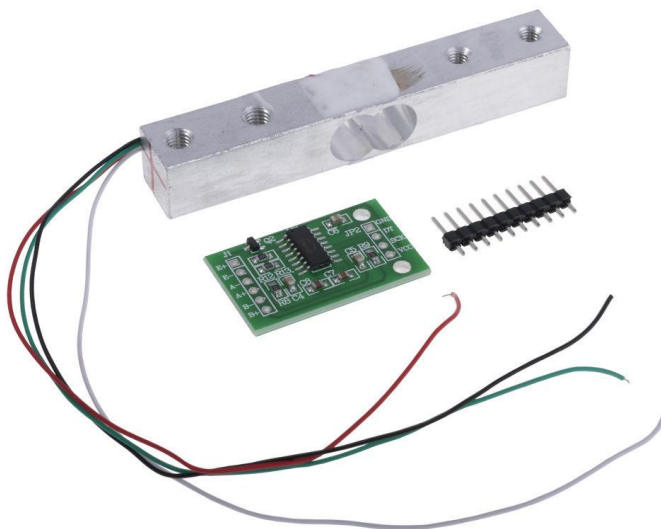


Рисунок 2.17 – Тензорезистивний датчик HX711 та його модуль

Підсумовуючи, можна сказати, що тензодатчик – це важливий елемент, що становить основу механізму будь-якого електронного ваговимірювального обладнання. Електронне вагове обладнання, на відміну від механічного обладнання, завдяки застосуванню датчиків сили стало менш громіздким, точнішим і набагато функціональнішим. Електронна система із застосуванням тензодатчиків дозволила перейти на якісно новий рівень роботи та повністю автоматизувати контрольно-вимірювальні процеси.

Приклад роботи тензодатчика зображений на (рис. 2.18).



Рисунок 2.18 – Процес роботи тензодатчика

2.4 Обробка сигналів з датчиків

Природа кристалів п'єзоелектричних елементів дозволяє генерувати звук високої частоти під впливом електричної напруги. Опинившись у полі високочастотних звукових коливань, п'єзокристал, навпаки, генерує електричну енергію. Включивши такі кристали в електричний ланцюг, і певним чином обробляючи сигнали, що отримуються з них.

Ультразвукові датчики випромінюють короткі високочастотні звукові імпульси через рівні проміжки часу. Вони поширюються у повітрі зі швидкістю звуку. Коли імпульси ударяються об перешкоду – вони відбиваються назад як луна сигналу датчика, який сам обчислює відстань до об'єкта часу між сигналом передачі і сигналом прийому.

Оскільки відстань до об'єкта визначається шляхом вимірювання часу, а

не інтенсивності звуку, ультразвукові датчики не залежать від завад на шляху розповсюдження звуку.

Практично будь-який матеріал, що відображає звук, може бути виявлений незалежно від його кольору. Навіть прозорі матеріали або тонка фольга не мають проблем для ультразвукового датчика.

Ультразвукові датчики призначені для визначення відстані від 20 мм до 10 м. Так як вони вимірюють час польоту звуку, точність їх виміру дуже висока. Роздільна здатність деяких датчиків може становити до 0,025 мм.

На роботу ультразвукового датчика не впливає запилене повітря, туман чи частинки тонера. Навіть невеликий шар на мембрані датчика не впливає на його працездатність.

Електронна схема підраховує відстань до об'єкта згідно з формулою (2.1).

Датчики зі сліпою зоною всього 20 мм та дуже тонким променем поширення знаходять найрізноманітніші застосування: визначення рівня наповнення лунок панелей мікротитру та тестових трубок, а також визначення наявності маленьких пляшок у пакувальній промисловості. Навіть визначення наявності тонкого дроту не становить проблем.

Здатність ультразвукового датчика визначати відстань до об'єкта ґрунтується на принципі сонара – посилаючи пучок ультразвуку, і отримуючи його відображення із затримкою, пристрій визначає наявність об'єктів та відстань до них.

Ультразвукові сигнали, що генеруються приймачем, відбиваючись від перешкоди, повертаються до нього через певний проміжок часу.

Саме цей часовий інтервал стає характеристикою, що допомагає визначити відстань до об'єкта (рис. 2.19).

Послідовність дій для отримання даних така:

- подаємо імпульс тривалістю 10 мкс на Trig;
- всередині далекоміра вхідний імпульс перетворюється на 8 імпульсів частотою 40 кГц і посилається вперед через випромінювач T;

– дійшовши до перешкоди, надіслані імпульси відображаються і приймаються приймачем R, в результаті отримуємо вихідний сигнал на виведенні Echo;

– безпосередньо на стороні контролера переводимо отриманий сигнал у відстань за формулою:

– ширина імпульсу (мкс) / 58 = дистанція (см);

– ширина імпульсу (мкс) / 148 = дистанція (дюйм).

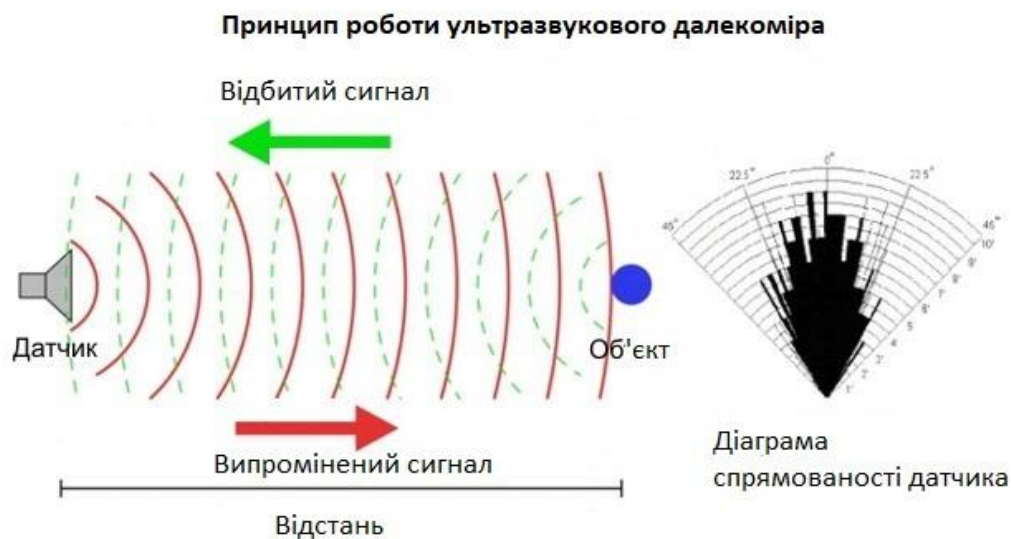


Рисунок 2.19 – Принцип роботи ультразвукового датчика US-100

Для обробки та передачі інформації здійснюється підключення HX711 до Arduino UNO. Для цього контакти живлення GND та VCC HX711 підключаються до точок GND та 5V роз'єму POWER модуля Arduino UNO, а контакти DT та SCK підключаються до точок A1 та A0 роз'єму ANALOG IN. Тензодатчик HX711 через контролер Arduino UNO можна підключити до рідкокристалічного дисплею LCD 1602 або комп'ютера, використовуючи USB порт та стандартні бібліотеки для Arduino.

Оскільки на виході вимірювального моста змінюється напруга, саме воно перетворюється на бінарний код. Діапазон контрольованих напруг залежить від обраного коефіцієнта посилення. Якщо коефіцієнт дорівнює 128, діапазон вимірюваної напруги варіюється від -20 mV до $+20\text{ mV}$, вибір

коефіцієнта посилення 64 визначає межі вимірювання від -40 mV до $+40\text{ mV}$ і при коефіцієнті рівному 32 межі вимірювання визначаються величинами -0 mV і $+80\text{ mV}$. Ці дані будуть коректними тільки при напрузі живлення $+5\text{ V}$. Якщо вхідна напруга вийде за нижню межу діапазону, АЦП видасть код 800000h, а якщо за верхню, код буде 7FFFFFFh [24].

2.5 Висновки до розділу 2

На основі аналізу розв'язуваної задачі встановлено такі етапи для її реалізації:

- вибір макету для робота маніпулятора за допомогою якого можна буде експериментувати всі комплектуючі для робота;

- вибір плати яка буде посередником між керуючим роботом (людиною) та його сенсорною системою, яка зможе відмінно обробляти всі дані та наводити їх у людину подібний опис для кращого розуміння ситуації, з розумінням відстані об'єктів до робота або силою стиснення роботом об'єкта;

- вибір датчиків які зможуть зробити робота-маніпулятора працездатним і таким, вимірювати точно дані, які йому знадобляться в процесі роботи;

- на базі вибору основних складових буде наведено приклад, що робототехніка не завжди дорога, вона може бути економною, якщо чітко розуміти що повинен вміти робити працювати, і підібрати найоптимальніші комплектуючі для його роботи.

За допомогою плати Arduino Uno можна створювати і керувати абсолютно різними проектами: датчик руху, датчик температури, можна створити роботи на свій смак. Все обмежується тільки фантазією людини і фінансовими коштами.

Arduino Uno можна порівняти з материнською платою комп'ютера, яка також має процесор, що знаходиться під кулером. Материнська плата з

процесором виконує ті ж функції. До неї підключаються інші пристрої:

- дисплей;
- дисководи;
- інша периферія.

Для експериментування сенсорної системи робота-маніпулятора буде розроблено макет на основі військового робота-сапера MARCbot (рис. 2.20).

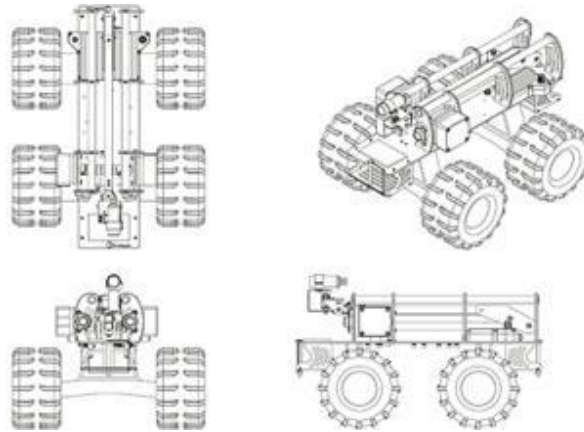


Рисунок 2.20 – Макет розроблення робота

Недоліки ІЧ-датчика:

- можливість хибних спрацьовувань. Через те, що датчик реагує на будь-які теплові, ІЧ-випромінювання, можуть бути помилкові спрацьовування навіть на тепле повітря, що надходить з кондиціонера, радіаторів опалення тощо;

- знижена точність роботи на вулиці. Через вплив навколишніх факторів, таких як пряме сонячне світло, опади тощо;

- невеликий діапазон робочих температур;

- не виявляє об'єкти одягнені/покриті матеріалами, які не пропускають ІЧ- випромінювання.

Переваги ультразвукового датчика над інфрачервоним:

- невисока вартість;

- не зазнають впливу навколишнього середовища;

- визначають рух незалежно від матеріалу об'єкта;

- мають високу працездатність в умовах високої вологості чи запиленості;
- не залежать від впливу температури навколишнього середовища чи об'єктів.

До переваг тензодатчиків слід віднести малу вагу та розміри, простоту конструкції та кріплення датчиків до виробів, здатність вимірювати статичні та динамічні деформації. До їхніх недоліків слід віднести вплив на опір датчиків температури. Незначна зміна опору датчика (близько 1%) робить необхідним посилення сигналу. При роботі в умовах високих температур та агресивного середовища вони вимагають спеціальних заходів захисту. Гістерезис сильно залежить від клею, яким приклеюється на виріб тензорезистор та матеріалу підкладки тензорезистора.

Стабільні клеї на основі термореактивних смол, епоксидних та поліефірних смол, менш стабільні ацетонові клеї. Найбільш поширений клей використовується для наклеювання тензорезисторів на основі бакелітово-фенольних смол БФ-2.

В якості плати була обрана Arduino Uno детально розібрана робота самої плати, з чого складається параметри плати, і всі пристрої вводу/виводу.

3 РОЗРОБКА АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАЧІ

3.1 Опис роботи маніпулятора

Промислові роботи можуть бути 4-х осьовими (використовуються для укладання та фасування) і 6-ти осьовими (для інших видів робіт). Крім того, роботи відрізняються і в залежності від ступеня свободи: від 2 до 6. Чим він вищий, тим точніше маніпулятор відтворює рух людської руки: обертання, переміщення, стиснення/розтискання, нахили та інше.

Принцип дії пристрою залежить від його програмного забезпечення та оснащення, і якщо на початку свого розвитку основна мета була звільнення працівників від важкого та небезпечного виду робіт, то сьогодні спектр виконуваних завдань значно зріс.

Один із найпопулярніших типів пристроїв – автономні. Такі роботи здійснюють запрограмований цикл дій, згідно з введеними алгоритмами, але також можуть самостійно коригувати свої дії в залежності від ситуації. Безперечна їхня перевага полягає в тому, що для роботи такої лінії – людина не потрібна. Існують і напівавтономні роботи. Їхні конструкції не оснащуються спеціальними сенсорами або датчиками, тому робот-маніпулятор виконуватиме лише запропонований алгоритм. Присутність робітника – обов'язкова. Також є й повністю керовані оператором маніпулятори, хоча виходячи з реалій сучасності приписка «робот» до них не зовсім застосовна [25].

Маніпулятор робота за своїм функціональним призначенням повинен забезпечувати рух вихідної ланки та, закріпленого в ньому, об'єкта маніпулювання у просторі по заданій траєкторії та із заданою орієнтацією. Для повного виконання цієї вимоги основний важільний механізм маніпулятора повинен мати не менше шести рухливостей, причому рух

кожної з них повинен бути керованим. Промисловий робот із шістьма рухомостями є складною автоматичною системою. Ця система складна як у виготовленні, так і в експлуатації. Тому в реальних конструкціях промислових роботів часто використовуються механізми з числом рухливостей менше шести. Найбільш прості маніпулятори мають три, рідше дві рухливості. Такі маніпулятори значно дешевші у виготовленні та експлуатації, але висувають специфічні вимоги до організації робочого середовища. Ці вимоги пов'язані із заданою орієнтацією об'єктів маніпулювання щодо механізму робота. Тому обладнання має розташовуватися щодо такого робота з необхідною орієнтацією.

Формула будови – математичний запис структурної схеми маніпулятора, що містить інформацію про кількість його рухливостей, вид кінематичних пар та їх орієнтацію щодо осей базової системи координат (системи, пов'язаної з нерухомою ланкою).

Рухи, що забезпечуються маніпулятором, поділяються на:

- глобальні (для роботів з рухомою основою) – рухи стійки маніпулятора, які суттєво перевищують розміри механізму;
- регіональні (транспортні) – рухи, що забезпечуються першими трьома ланками маніпулятора або його «рукою», величина яких можна порівняти з розмірами механізму;
- локальні (орієнтуючі) – рухи, що забезпечуються ланками маніпулятора, які утворюють його «пензель», величина яких значно менша за розміри механізму.

Відповідно до цієї класифікації рухів, у маніпуляторі можна виділити дві ділянки кінематичного ланцюга з різними функціями: механізм руки та механізм кисті. Під «рукою» розуміють ту частину маніпулятора, що забезпечує переміщення центру схвату – точки М (регіональні рухи схвату); під «пензлем» – ті ланки та пари, які забезпечують орієнтацію схвату (локальні рухи схвату).

Розглянемо структурну схему антропоморфного маніпулятора, тобто

схему, яка у першому наближенні відповідає механізму руки людини (рис. 3.1).

Цей механізм складається з трьох рухомих ланок і трьох кінематичних пар: двох три-рухливих сферичних $A3сф$ і $C3сф$ і однієї рухомої одно-рухової.

Кінематичні пари маніпулятора характеризуються: ім'ям або позначенням КП – велика літера латинського алфавіту (А, В, С тощо); ланками, що утворюють пару (0/1,1/2 тощо); відносним рухом ланок у парі (для однорухових пар – обертальне, поступальне та гвинтове); рухливістю КП (для нижчих пар від 1 до 3; для вищих пар від 4 до 5); віссю орієнтації осі КП щодо осей базової чи локальної системи координат [26].

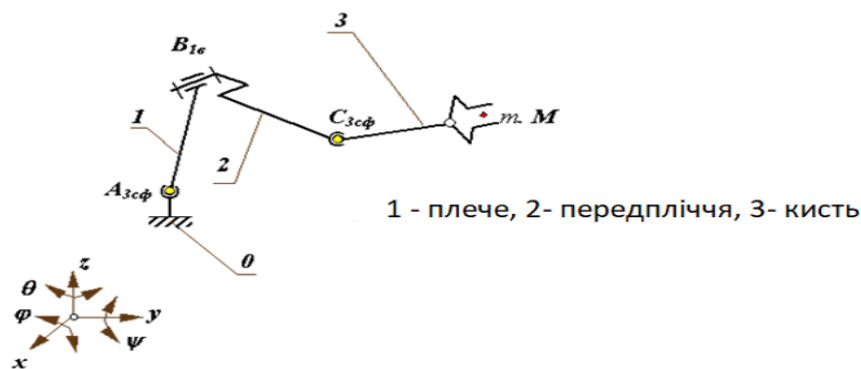


Рисунок 3.1 – Структурна схема антропоморфного маніпулятора

Робочий простір маніпулятора – частина простору, обмежена поверхнями, що огинають до безлічі можливих положень його ланок.

Зона обслуговування маніпулятора – частина простору, що відповідає безлічі можливих положень центру схвату маніпулятора. Зона обслуговування є важливим характеристикою маніпулятора. Вона визначається структурою та системою координат руки маніпулятора, а також конструктивними обмеженнями накладеними відносно переміщення ланок у КП.

Рухливість маніпулятора W – число незалежних узагальнених

координат, що однозначно визначає положення схвату в просторі:

$$W = 6n - \sum_{i=1}^n (6-i)P_i. \quad (3.1)$$

Маневреність маніпулятора M – це рухливість маніпулятора при зафіксованому (нерухомому) схваті

$$M = W - 6. \quad (3.2)$$

Можливість зміни орієнтації схвату при розміщенні його центру в заданій точці зони обслуговування характеризується кутом сервісу – тілесним кутом ψ , який може описати останню ланку маніпулятора (ланка на якій закріплений схват) при фіксації центру схвату в заданій точці зони обслуговування:

$$W = f_c / l_{cm}^3, \quad (3.3)$$

де f_c – площа сферичної поверхні, що описується точкою 3 ланки 3;

l_{cm} – довжина ланки 3.

Відносна величина $k_v = \psi / (4\pi)$, називається коефіцієнтом сервісу. Для маніпулятора

– рухливість маніпулятора:

$$W = 6 * 3 - (3 * 2 - 5 * 1) = 18 - 11 = 7;$$

– маневреність:

$$M = 7 - 6 = 1;$$

– формула будови:

$$W = [\theta_{10} + \varphi_{10} + \psi_{10}] + \varphi_{21} + [\theta_{32} + \varphi_{32} + \psi_{32}].$$

Структура кінематичного ланцюга маніпулятора повинна забезпечувати необхідне переміщення об'єкта у просторі із заданою орієнтацією. Для цього необхідно, щоб схват маніпулятора мав можливість виконувати рухи мінімум по шести координатах: трьох лінійних і трьох кутових. Розглянемо об'єкт маніпулювання точку M , яка збігається з центром схвату. Положення об'єкта в нерухомій (базовій) системі координат $0x_0y_0z_0$ визначається радіусом-вектором точки M та орієнтацією одиничного вектора з початком у цій точці [27].

У математиці положення точки в просторі задається в одній із трьох систем координат:

- прямокутній декартовій з координатами x_M, y_M, z_M ;
- циліндричній з координатами r_M, φ_M, z_M ;
- сферичній з координатами r_M, φ_M, θ_M .

Орієнтація об'єкта у просторі задається кутами α, β та γ , які вектор орієнтації утворює з осями базової системи координат (рис. 3.2).

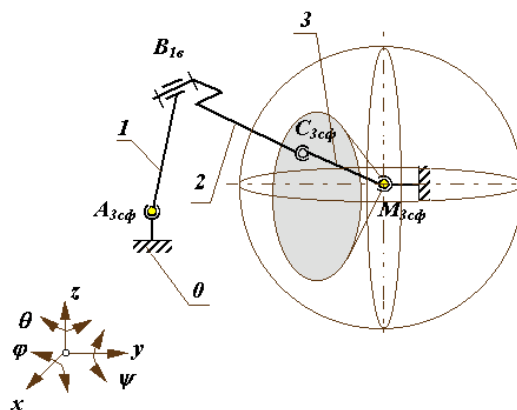


Рисунок 3.2 – Структура кінематичного ланцюга

При синтезі механізму маніпулятора необхідно враховувати таке:

– кінематичні пари маніпуляторів забезпечуються приводами, що включають двигуни та гальмівні пристрої, тому у схемах маніпуляторів зазвичай використовуються однорухливі кінематичні пари: обертальні або поступальні;

– необхідно забезпечити як задану рухливість свата маніпулятора, а й таку орієнтацію осей кінематичних пар, яка забезпечувала необхідну форму зони обслуговування, і навіть простоту і зручність програмування його рухів;

– при виборі орієнтації кінематичних пар необхідно враховувати розташування приводів (на підставі або рухомих ланках), а також спосіб врівноважування сил ваги ланок (рис. 3.3).

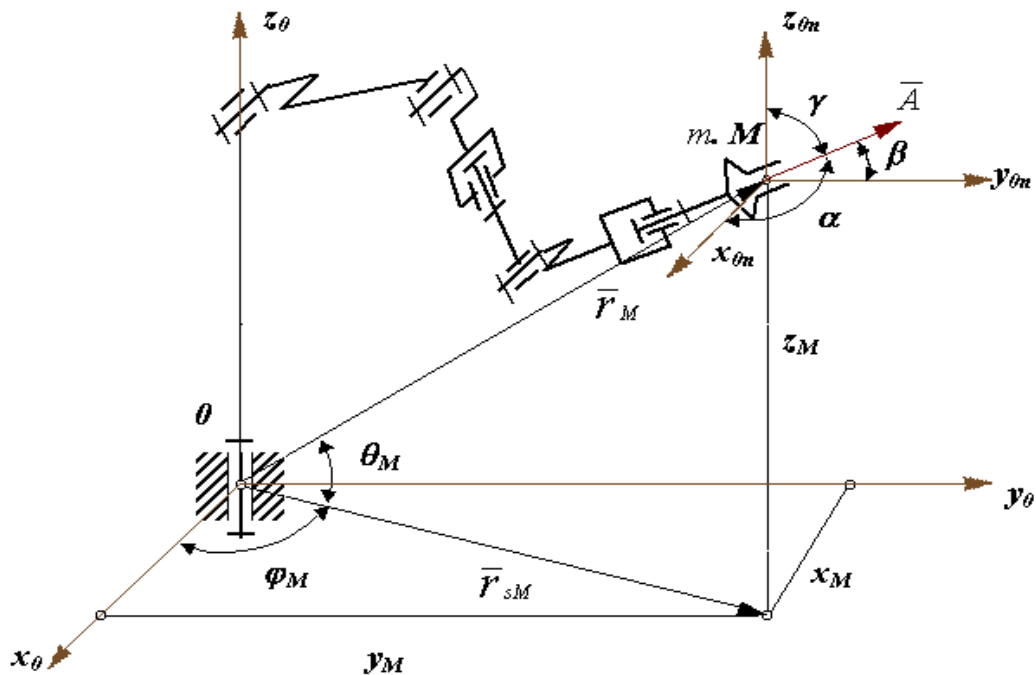


Рисунок 3.3 – Схема шестирухомого маніпулятора з обертальними кінематичними парами

При виконанні першої умови кінематичні пари з кількома рухливостями замінюють еквівалентними кінематичними сполученнями (рис. 3.4).

Після системного розгляду взаємодії робота з зовнішнім середовищем та оптимізації технічних вимог до робота та об'єктів цього середовища

необхідно переходити до проектування власне робота. Процес проектування пропонується реалізувати в рамках агрегативно-декомпозиційного підходу, який передбачає розпаралелювання складної задачі проектування на множину з більш простих підзадач.

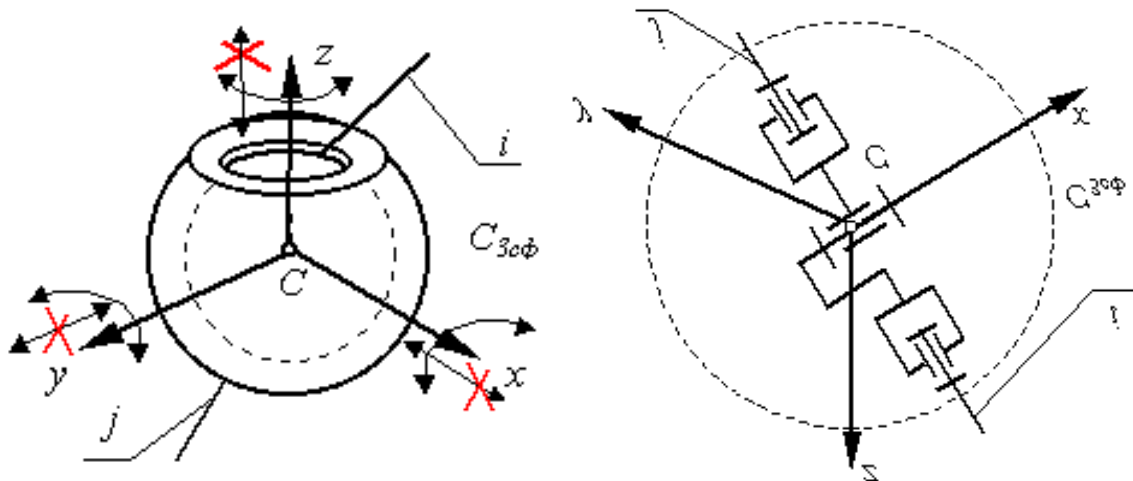


Рисунок 3.4 – З'єднання для сферичної пари при умовах кінематичної пари x кількома рухливостями

У процесі аналізу взаємозв'язків задач системного проектування робота кожному з моделей задач будемо подавати у такому вигляді:

$$ModTask_i : \{ InDat_{iE}, InDat_{iI}, Res_i \} \rightarrow DesDesc_i, i = \overline{1, N},$$

де $ModTask_i$ – модель i -ї задачі;

$InDat_{iE}$ – множина формалізованих зовнішніх (відносно комплексу задач) вхідних даних;

$InDat_{iI}$ – множина формалізованих внутрішніх (відносно комплексу задач) вхідних даних;

Res_i – множина формалізованих обмежень задач;

$DesDesc_i$ – проектне рішення.

3.2 Програмно-апаратне забезпечення сенсорної системи робота-маніпулятора

Для підключення Arduino до джерела живлення потрібно скористатися кабелем стандарту USB (з роз'ємами типу USB-A та USB-B) (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Arduino Uno та кабель з роз'ємами типу USB-A та USB-B

Arduino IDE – це програмне середовище розробки, що використовує C++ і призначене для програмування всіх плат Arduino (рис. 3.6).

Для роботи з Arduino потрібно встановити безкоштовне середовище розробки Arduino IDE, а також за потребою драйвер CH340.



Рисунок 3.6 – Екранна форма середовища розробки Arduino IDE

Програмний код для Arduino прийнято називати скетч. У скетч є два основних методи: `setup()` і `loop()`. Перший метод автоматично викликається після увімкнення/скидання мікроконтролера. У ньому відбувається ініціалізація портів та різних модулів, систем. Метод `loop()` викликається у нескінченному циклі протягом усієї роботи мікроконтролера.

Порти – невід’ємна частина будь-якого мікроконтролера. Через них відбувається взаємодія мікроконтролера із зовнішніми пристроями. З програмного боку порти називаються пінами. Будь-який пін може працювати в режимі входу (для подальшого зчитування напруги з нього) або в режимі виходу (для подальшого встановлення напруги на ньому).

Будь-який пін працює з двома логічними станами: `LOW` та `HIGH`, що еквівалентно логічному нулю та одиниці відповідно. Деякі порти мають вбудований АЦП, що дозволяє зчитувати аналоговий сигнал із входу (наприклад, значення змінного резистора). Також деякі піни можуть працювати в режимі ШІМ (`PWM`), що дозволяє встановлювати аналогову напругу на виході. Зазвичай функціональні можливості піна вказуються на маркуванні самої плати.

Для базової роботи з платою в бібліотеці Arduino є такі функції:

- `pinMode(PIN, type)` вказує призначення конкретного піна `PIN` (значення `type` `INPUT` – вхід, `OUTPUT` – вихід);
- `digitalWrite(PIN, state)` встановлює логічний стан на виході `PIN` (`state` `LOW` – 0, `HIGH` – 1);
- `digitalRead(PIN)` повертає логічний стан зі входу `PIN` (`LOW` – 0, `HIGH` – 1);
- `analogWrite(PIN, state)` встановлює аналогову напругу на виході `PIN` (`state` в межах від 0 до 255);
- `analogRead(PIN)` повертає значення аналогового рівня сигналу зі входу `PIN` (межі залежать від розрядності вбудованого АЦП. Зазвичай розрядність становить 10 біт, отже, значення, що повертається лежить в

межах від 0 до 1023);

- `delay(ms)` зупиняє виконання скетчу на задану кількість мілісекунд;
- `millis()` повертає кількість мілісекунд після моменту запуску мікроконтролера.

- в іншому процес програмування на Arduino такий самий, як на стандартному C++.

Далі потрібно вибрати відповідну плату Arduino Uno (рис. 3.7).

Тепер вибираємо порт, до якого підключено плату. COM1 – здебільшого системний порт.

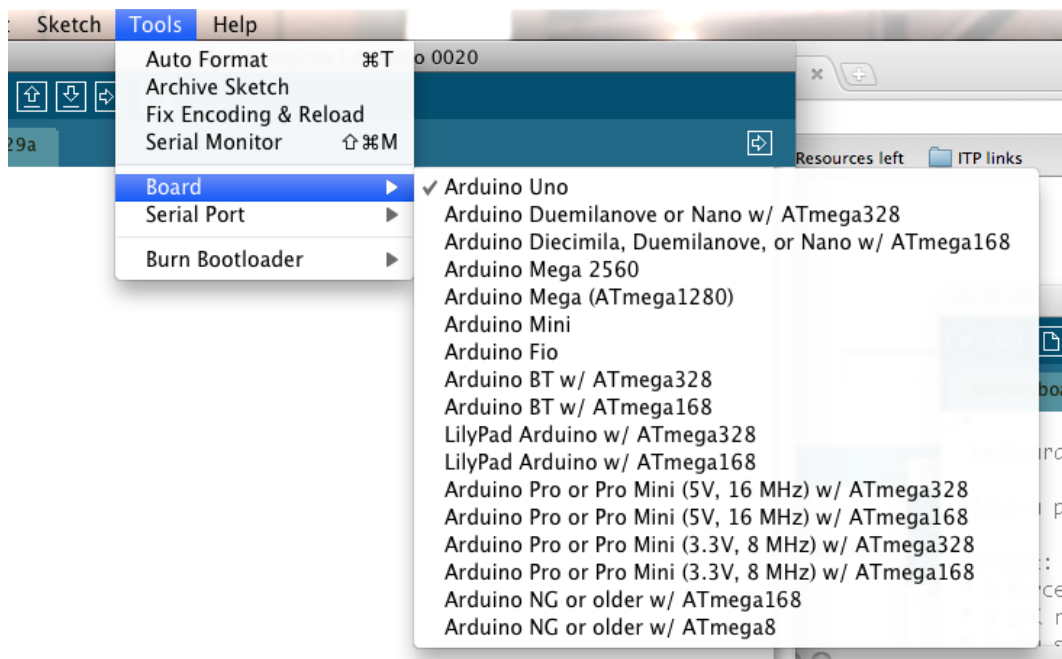


Рисунок 3.7 – Вибір плати у програмному середовищі Arduino IDE

Для ультразвукових датчиків відстаней існує чимала кількість. Серед них найбільш популярні, мабуть, Ultrasonic (автор Erick Simões) та NewPing. Перша містить єдину функцію для вимірювання відстані і дуже проста у використанні, тоді як друга відрізняється розширеним функціоналом та оптимізованим кодом. Вони підходять для датчика US-100 в режимі GPIO і доступні для установки через менеджер бібліотек IDE Arduino.

Більшість ультразвукових датчиків відстаней не обчислюють відстань

до об'єкта самостійно. Натомість вони надають інформацію про час, за який ультразвук повернувся назад до датчика. Подальші розрахунки визначення відстані виконуються програмно, за мікроконтролера. Але є й такі датчики, які самі виконують необхідні обчислення та надають на виході вже готовий результат.

US-100 підтримує обидва способи взаємодії. З одного боку, це дозволяє використовувати його в схемах і програмах, призначених для датчиків першого типу (наприклад, HC-SR04). З іншого боку, ми можемо звільнити мікроконтролер від описаних вище розрахунків і зчитувати з датчика результат вимірювань через послідовний інтерфейс. А з урахуванням того, що US-100 має вбудовану термокомпенсацію, результати розрахунків на стороні датчика будуть більш точними:

- Vcc використовується для підключення «плюсу» джерела живлення;
- Trig (TX у режимі Serial) – для запуску вимірювання в режимі GPIO або вихід передавача під час роботи у Serial режимі;
- Echo (RX у режимі Serial) – для зчитування результатів вимірювання у режимі GPIO або вхід приймача під час роботи у Serial режимі.

Два виведення Gnd для підключення «мінусу» джерела живлення.

Вибір режиму роботи US-100 визначається перемичкою: коли вона встановлена, датчик працює у режимі Serial; коли знято – у режимі GPIO (general-purpose input/output).

Приєднаємо їх до Arduino відповідно до наведеної схеми (рис. 3.8).

Робота датчика ваги полягає в зміні будь-якого фізичного параметра, пропорційно вазі предмета, що вимірюється. Параметр залежить від того, який елемент у датчику. Так при зміні навантаження на п'єзокерамічну пластину змінюється напруга, що знімається з електродів на кінцях п'єзодатчика. При використанні ємнісного датчика змінюється ємність змінного конденсатора. У даній конструкції використовується датчик ваги, виконаний на пружному резисторі і при зміні ваги, змінюється його опір, а, отже, і напруга, що знімається з схеми мостової.

Датчик є прямокутним бруском з алюмінієвого сплаву, з отвором в центрі. На його бічні поверхні нанесені тонкоплівкові резистори, з'єднані за мостовою схемою, тому резистивний датчик має 4 гнучкі виведення. Усі елементи датчика залиті епоксидним компаундом. На бруську передбачені різьбові отвори для кріплення його до основи та для встановлення пластини під вантаж, що вимірюється. На торцевій стороні датчика нанесено маркування, що вказує на максимальну вагу вимірюваного вантажу.

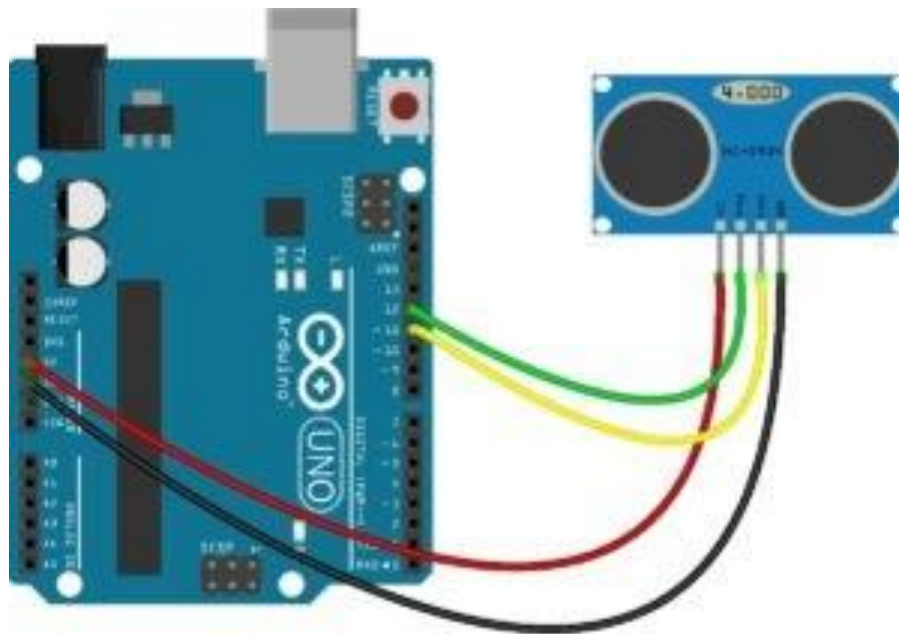


Рисунок 3.8 – Схема підключення ультразвукового датчика до Arduino UNO

Для того щоб резистори змінювали свій опір, тензометричний датчик повинен одним кінцем фіксуватися на підставі, а на інший кінець повинен діяти вантаж так, щоб виникла деформація бруска і, відповідно, плівкових резисторів. Для того, щоб перетворити аналоговий сигнал з виходу тензорного датчика в двійковий код, застосовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП) HX711.

Інтегральна мікросхема HX711 являє собою аналого-цифровий перетворювач з частотою дискретизації 24 біт і вбудованим малошумним операційним підсилювачем. Мультиплексор дозволяє вибирати один із двох

наявних вхідних каналів. Канал А має програмований вибір коефіцієнта посилення, який може бути 64 або 128. Канал працює з попередньо встановленим коефіцієнтом, рівним 32.

До складу мікросхеми входить інтегральний стабілізатор напруги, що унеможливорює застосування зовнішнього стабілізатора. На вхід синхронізації може бути поданий будь-який імпульсний сигнал від зовнішнього джерела, разом з тим, АЦП допускає роботу від вбудованого генератора. Приклад підключення мікросхеми до тензодатчика можна побачити на (рис. 3.9).

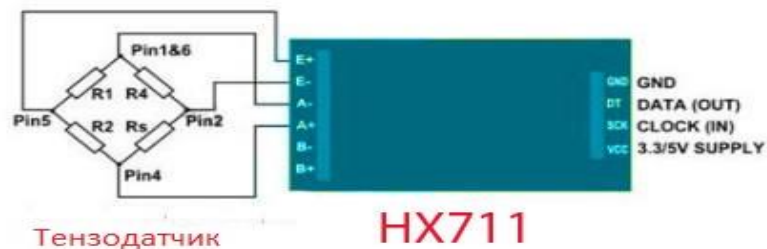


Рисунок 3.9 – Схема підключення тензодатчика датчика до інтегральної мікросхеми HX711

Оскільки резистори тензорного датчика включені за мостовою схемою, від пристрою відходять 4 провідники, що мають різне кольорове маркування. На два плечі моста подається опорна напруга, а з двох інших плечей знімається вихідна напруга, яка подається на вхід підсилювача операційного мікросхеми HX711.

Для подальшої обробки та передачі інформації здійснюється підключення HX711 до Arduino UNO. Для цього контакти живлення GND та VCC HX711 підключаються до точок GND та 5V роз'єму POWER модуля Arduino UNO, а контакти DT та SCK підключаються до точок A1 та A0 роз'єму ANALOG IN. Тензодатчик HX711 через контролер Arduino UNO можна підключити до рідкокристалічного дисплея LCD 1602 або комп'ютера, використовуючи USB порт та стандартні бібліотеки для Arduino (рис. 3.10).

Перед тим як починати писати скетч для тензодатчика потрібно перевірити повну його виправність.

Перевірка опору ізоляції. Для виконання цього тесту, необхідно підключити мегомметр до кабелю тензодатчика і перевірити наявність струму витoku між корпусом тензодатчика і струмопровідними частинами. Для перевірки тензометричних ланцюгів Kelі допускається застосування мегомметра напругою трохи більше 50В постійного струму.

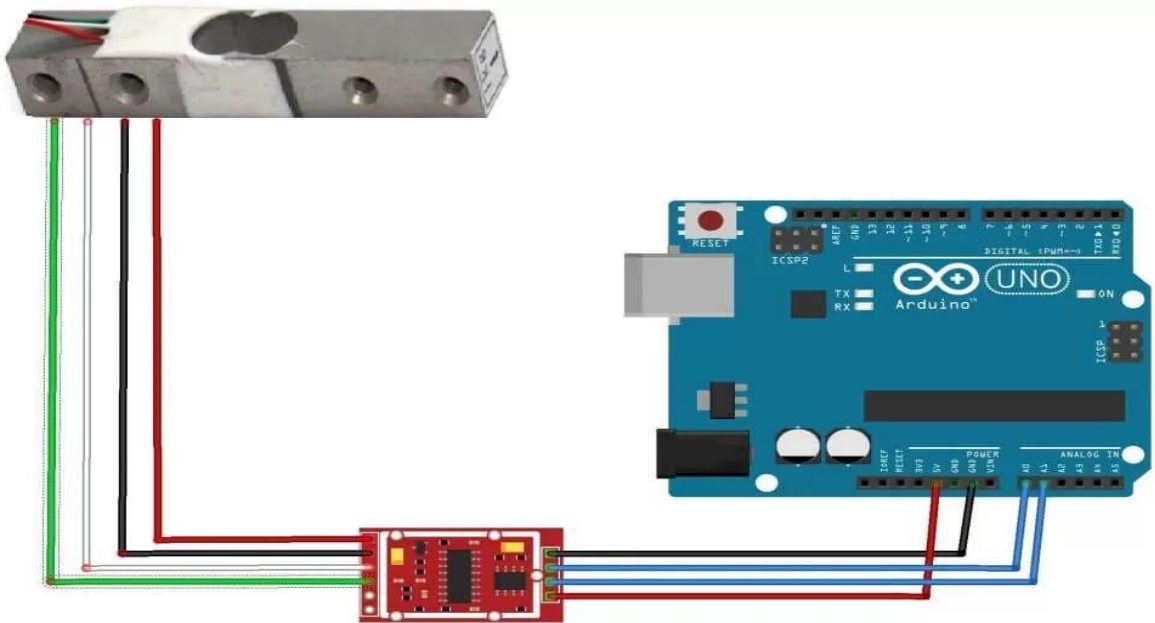


Рисунок 3.10 – Схема з'єднань модуля HX711, тензодатчика та плати

Для функціонуючого тензодатчика значення знятих вимірів не повинно бути нижчим за 5 Мом. Якщо значення опору ізоляції менше 1кОм – це свідчить про явне коротке замикання. Коротке замикання може бути між корпусом тензодатчика та струмопровідними частинами (тензорезисторами), а також у кабелі. При короткому замиканні в кабелі його можна замінити, якщо це передбачає конструкція тензодатчика.

Відсутність пошкоджень моста перевіряється шляхом вимірювання вхідного та вихідного опору, а також опору балансу моста. Від'єднайте датчик із коробки або вимірювального приладу. Вхідні (EXC+, EXC-) та вихідні (SIG+, SIG-) опору вимірюється омметром, що підключається до

кожної пари вхідних та вихідних проводів тензодатчика. Потім проводиться порівняння вхідного та вихідного опору зі значеннями калібрувального паспорта (видається виробником) або з технічними даними з каталогу. Опір балансу моста вимірюється послідовним підключенням омметра до кожної пари виводів кабелю. Значення опору між парами не повинно відрізнятися більш ніж на 1–2 Ом.

Розбіжність вхідного та вихідного опору тензодатчика від паспортних значень говорить про несправність тензометричного мосту, як наслідок — появу опору розбалансу, він свідчить про непрацездатність тензодатчика та необхідність його заміни. Дані несправності, як правило, виникають внаслідок електричного впливу (зварювання, статичне поле, електричний пробій), фізичного (динамічні удари, прокручування, бічні навантаження).

Перевірка нульового балансу (у ненавантаженому стані). Даний тест проводиться для перевірки стану тензодатчика в ненавантаженому стані, для цього тензодатчик витягують із вузла вбудови і прибирають із датчика ваги все прикладене навантаження. Далі необхідно підключити джерело живлення, рекомендований виробником для правильної роботи тензодатчика, в ланцюг збудження тензодатчика, а з вихідного ланцюга зняти сигнал у мВ, і порівняти зі значенням, зазначеним у паспорті на датчик. Для тензодатчиків Keli Sensing рекомендована напруга живлення становить 5-12V(DC).

Приклад: при чутливості тензодатчика 2мВ/В та живленні 10В напруга нульового балансу не повинна перевищувати ± 0.02 мВ.

Якщо значення вихідного сигналу суттєво відрізняються від паспортних значень, можна судити про деформацію пружного елемента тензодатчика, також можливе відклеювання або порушення ізоляційного шару тензорезисторів.

Перевірка тензодатчика у навантаженому стані. Для цього тесту тензодатчик має бути підключений до вагового індикатора або до приладу зі стабільним джерелом живлення від 5V до 12V. За допомогою мілівольтметра, підключеного до виходу тензодатчика, навантажують датчик і фіксують

показання вихідного сигналу, при знятті навантаження показання вихідного сигналу повинні повернутися до вихідних. При проведенні даного тесту необхідно проводити кілька циклів навантаження-розвантаження тензодатчика різною вагою, але не менше 50% від НПВ датчика. Також необхідне утримання ваги щонайменше 30 хв. у кожному з циклів та аналіз зміни показань протягом даного періоду часу. У разі якщо при проведенні тесту показання відрізнятимуться від значення навантаження, що постійно прикладається, а також не повертатимуться до вихідних значень, можна судити про порушення контакту в клейовому шарі між тензорезисторами і пружним елементом. Такий тензодатчик вимагає заміни.

Приклад скетчу для US-100 у режимі GPIO. У режимі GPIO взаємодія з US-100 аналогічна роботі з HC-SR04 та іншими популярними датчиками. Алгоритм роботи для режиму GPIO наступний.

На вхід Trig подаємо сигнал високого рівня тривалістю 10 мкс.

Отримавши імпульс на вході Trig, датчик генерує серію із 8 ультразвукових коливань і встановлює високий рівень на виведенні Echo.

При отриманні ультразвукової відбитої хвилі датчик змінює рівень сигналу на виведенні Echo на низький. Таким чином, тривалість імпульсу, що вийшов, буде відповідати часу поширення ультразвуку до об'єкта і назад.

Arduino вимірює тривалість імпульсу на виведенні Echo і визначає відстань до об'єкта.

Наступний скетч реалізує описаний нижче алгоритм.

```
const float sound_speed = 343.1; // Швидкість звуку повітря при t=20C
const float k = (20000/sound_speed);
const byte pinEcho = 2;
const byte pinTrig = 3;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
```

```

pinMode(pinTrig, OUTPUT);
pinMode(pinEcho, INPUT);
}

int getDistance(int maxDistance = 450) {
    // Функція визначення відстані до об'єкта за допомогою
    ультразвукового датчика US-100 (режим GPIO)
    // Повертає -1, якщо перевищений тайм очікування відлуння
    // Необов'язковий параметр maxDistance задає максимальну відстань,
    що вимірюється, в сантиметрах
    unsigned long timeout = maxDistance * k;
    unsigned long previousMicros;
    unsigned int t;
    // Формуємо імпульс на вході Trig тривалістю 10мкс
    digitalWrite(pinTrig, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(pinTrig, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(pinTrig, LOW);

    // Чекаємо HIGH на виведенні Echo
    previousMicros = micros();
    while(!digitalRead(pinEcho)){
        if (micros() - previousMicros > 10000) return -1;
    }

    // Вимірюємо тривалість імпульсу у відповідь на виведенні Echo
    previousMicros = micros();
    while(digitalRead(pinEcho)){
        if (micros() - previousMicros > timeout) return -1;
    }
}

```

```

    }
    t = micros() - previousMicros;

    return (t/k);
}

void loop() {
    // Вимірюємо відстань
    int d = getDistance();

    // Виводимо результат у Serial
    Serial.print("Ping: ");
    Serial.print(d);
    Serial.println("cm");
    delay(1000);
}

```

Взаємодія з датчиком та обчислення відстані до об'єкта оформлено у вигляді окремої функції `getDistance`. Її необов'язковий параметр дозволяє задати максимальну відстань, що вимірюється. Якщо, наприклад, нас цікавить відстань до перешкод у межах метра, то функцію можна викликати з параметром 100:

```
int d = getDistance (100).
```

Якщо на зазначеній відстані не буде перешкод, то функція поверне значення 1, не чекаючи відображення ультразвуку від більш далеких об'єктів.

У режимі Serial US-100 приймає команди за послідовним інтерфейсом та повертає результат. Датчик підтримує 2 команди:

0x55 – команда виміру відстані. Повертається двобайтне значення – це

відстань у міліметрах;

0x50 – команда вимірювання температури. Результат виконання команди – однобайтне значення, від якого необхідно відняти 45, щоб отримати температуру в градусах Цельсія.

Крім того, у режимі Serial задіюється термокомпенсація, що забезпечує високу точність показань US-100 у всьому діапазоні робочих температур.

Для перемикання US-100 у режим Serial необхідно перед подачею живлення встановити перемичку на платі датчика. Приклад скетчу наведено нижче.

```
#include "SoftwareSerial.h"

const byte pinRX = 2; // = Echo
const byte pinTX = 3; // = Trig

SoftwareSerial US100 (pinRX, pinTX);

unsigned int d;
int t;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  US100.begin(9600);
}

void loop() {
  // Вимірюємо відстань:
  US100.write(0x55); // Подаємо команду виміру відстані
  while(US100.available() < 2); // Очікуємо на готовність даних
  d = US100.read(); // Зчитуємо старший байт
```

```

d=(d << 8) + US100.read(); // Зчитуємо младший байт
Serial.print("Dist: "); // Виводимо результат у Serial
Serial.print(d, DEC);
Serial.println("mm");

// Вимірюємо температуру:
US100.write(0x50); // Подаємо команду вимірювання температури
while(US100.available() < 1); // Очікуємо на готовність даних
t = US100.read(); // Зчитуємо байт
Serial.print("Temp:"); // Виводимо результат у Serial
Serial.print(t - 45);
Serial.println("C");
delay(1000);
}

```

Для роботи з тензодатчиком будемо використовувати бібліотеку HX711.

```

// Калібрування ваг
// Підключення бібліотеки
#include "HX711.h"
// Створення екземпляра об'єкта
// 15(A1) – пін підключення DT
// 14(A0) – пін підключення SCK
HX711 weight(15, 14);
// значення калібрувального коефіцієнта
float scale_calibration = -3.7;
// змінні
float weight_units;
float weight_gr;

```

```
void setup() {  
  // Ініціалізуємо послідовний порт  
  Serial.begin(9600);  
  Serial.println("HX711 calibration ...");  
  
  scale.set_scale();  
  
  // Скидаємо вагу на 0  
  scale.tare();  
}  
  
void loop() {  
  // Встановлюємо калібрувальний коефіцієнт  
  scale.set_scale(scale_calibration);  
  // отримати дані  
  Serial.print("Read data: ");  
  weight_units = scale.get_units(), 10;  
  // якщо <0, то 0  
  if (weight_units < 0) {  
    weight_units = 0.00;  
  }  
  // Переведення з унцій в грами  
  weight_gr = weight_units * 0.035274;  
  // Виведення даних у послідовний порт  
  //Вага  
  Serial.print("weight_gr =");  
  Serial.print(weight_gr);  
  Serial.print("gr");  
  // калібрувальний коефіцієнт
```

```
Serial.print("scale_calibration=");  
Serial.println(scale_calibration);  
}
```

Тепер датчики відкалібровані та готові до використання. Для вимірювання завантажуюмо на плату Arduino основний скетч.

```
// Підключення бібліотеки  
#include "HX711.h"  
  
// Створення екземпляра об'єкта  
// 15(A1) – пін підключення DT  
// 14(A0) – пін підключення SCK  
HX711 weight(15, 14);  
  
// значення калібрувального коефіцієнта (робити підбір для ваги)  
  
float scale_calibration = 64,80;  
  
// змінні  
float weight_units;  
float weight_gr;  
  
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  scale.set_scale();  
  
  //Скидаємо на 0  
  scale.tare();  
  
  //Застосовуємо калібрування  
  scale.set_scale(scale_calibration);  
}
```

```

void loop() {
  Serial.print("Read data...");
  // усереднюємо свідчення
  for(int i = 0; i < 10; i ++) units = + scale.get_units(), 10;
  weight_units/10;
  // Переведення з унцій в грами

  weight_gr = weight_units * 0.035274;

  // Виведення даних у послідовний порт
  Serial.print("weight_gr=");
  Serial.print(weight_gr);
  Serial.println("grams");
}

```

Функція `begin()`:

- призначення: ініціювання роботи мікросхем;
- синтаксис: `begin(ПАРАМЕТР_1, ПАРАМЕТР_2, ПАРАМЕТР_3)`;
- ПАРАМЕТР_1 – вказівка виводу Arduino, якого підключено вивід DOUT мікросхеми HX711;
- ПАРАМЕТР_2 – вказівка виводу Arduino, до якого підключено вивід SCK мікросхеми HX711;
- ПАРАМЕТР_3 – вказівка коефіцієнта посилення на вході: 32 (канал B), 64/128 (канал A). Якщо параметр не вказано, буде встановлено значення 128;

Значення, що повертаються:

- ні;
- функцію необхідно викликати до звернення до будь-яких інших функцій бібліотеки;

– функцію достатньо викликати один раз у кодї `setup`.

Приклад:

– `scale.begin(DT, SCK);` // ініціюємо роботу з датчиком.

Функція `is_ready()`:

– призначення: перевірка готовності АЦП до роботи;

– синтаксис: `is_ready()`;

– Значення, що повертаються – `true` – готовий до роботи / `false` – не готовий.

Приклад:

– `scale.is_ready()`; // Перевірка готовності АЦП до роботи;

– функція `set_gain()`;

– призначення: встановлення коефіцієнта посилення;

– синтаксис: `set_gain (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– значення коефіцієнта посилення: 32, 64, 128;

– значення, що повертаються: ні.

Примітка:

– для каналу це значення 64 або 128;

– для каналу це значення 32.

Приклад:

– `scale.set_gain(64);` // Встановлюємо значення коефіцієнта посилення рівним 64 (канал А).

Функція `read()`:

– призначення: зчитування «сирих» значень АЦП;

– синтаксис: `read()`;

– параметри: ні;

– значення, що повертаються: «сире» значення з АЦП.

Примітка:

– можна вказати як до функції `set_scale()`, і після неї. Це впливає на кінцевий результат, тому що в першому випадку калібрувальний коефіцієнт

не враховується.

Приклад:

– `scale.read()`; // Зчитування «сирих» значень із АЦП.

Функція `read_average()`:

– призначення: запит середнього значення ваги АЦП (в унціях);

– синтаксис: `read_average (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– кількість вимірювань, взятих з АЦП, за якими обчислюється середнє значення;

– значення, що повертаються: середнє значення вимірювань з АЦП.

Примітка:

– можна вказати як до функції `set_scale()`, і після неї. Це впливає на кінцевий результат, тому що в першому випадку калібрувальний коефіцієнт не враховується.

Приклад:

`scale.read_average(10)`; // зчитування середнього значення за 10 вимірами.

Функція `get_value()`:

– призначення: запит значення, скоригованого з урахуванням ваги тари (в унціях);

– синтаксис: `get_value (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– кількість вимірювань, взятих з АЦП, за якими обчислюється середнє значення;

– значення, що повертаються: значення ваги з урахуванням тари.

Можна вказати як до функції `set_scale()`, і після неї. Це впливає на кінцевий результат, тому що в першому випадку калібрувальний коефіцієнт не враховується;

Для переведення ваги з унцій у грами необхідно набуте значення помножити на 0.035274.

Приклад:

– `scale.get_value(10);` // Запит середнього значення ваги (по 10 вимірів), з якого вже віднято масу тари.

Функція `get_units()`:

– призначення: запит значення, скоригованого з урахуванням ваги тари та калібрувального коефіцієнта (в унціях);

– синтаксис: `get_units (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– кількість вимірювань, взятих з АЦП, за якими обчислюється середнє значення;

– значення, що повертаються: значення ваги з урахуванням тари і калібрувального коефіцієнта.

Примітки:

– можна вказати як до функції `set_scale()`, і після неї. Це впливає на кінцевий результат, тому що в першому випадку калібрувальний коефіцієнт не враховується;

– для переведення ваги з унцій у грами необхідно набуте значення помножити на 0.035274.

Приклад:

– `scale.get_units(5);` // Запит середнього значення ваги (по 5 вимірах), з якого вже віднято силу схвату та внесено калібрувальний коефіцієнт.

Функція `tare()`:

– призначення: запит значення тари, який буде віднімається з кінцевого значення ваги (в унціях).

Синтаксис:

– `tare (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– кількість вимірювань, взятих з АЦП, за якими обчислюється середнє значення;

– значення, що повертаються: значення ваги тари;

– `scale.tare(3);` // Запит середнього значення ваги тари (за 3 вимірами).

Функція `set_scale()`:

– призначення: завдання калібрувального коефіцієнта для перекладу «сирих» значень АЦП до «легкочитаних».

Синтаксис:

– `set_scale (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– значення калібрувального коефіцієнта;
– значення, що повертаються ні.

Приклад:

– `scale.set_scale(-4.5);` // Установка калібрувального коефіцієнта.

Функція `get_scale()`:

– призначення: запит значення встановленого калібрувального коефіцієнта.

Синтаксис:

– `get_scale()`.

Параметри:

– ні;
– значення, що повертаються: значення калібрувального коефіцієнта.

Приклад:

– `scale.get_scale();` // Запит калібрувального коефіцієнта.

Функція `set_offset()`:

– завдання ваги тари «вручну» (в унціях).

Синтаксис:

– `set_offset (ПАРАМЕТР)`.

Параметри:

– значення ваги тари (в унціях).

3.3 Результати експериментів

Після експериментів можна підбити підсумок, завдяки ультразвуковому далекоміру, робот може визначати відстані до об'єкта в сантиметрах і ми зможемо отримувати відображення на ПК. Вимірявши час до приходу відбитого сигналу фактору швидкості звуку інтегрований в сенсор контролер розраховує відстань до об'єкта (рис. 3.7).

Числа, що видаються Arduino, коливаються в межах від 0 до 16 мільйонів, при цьому «початок координат» знаходиться приблизно на 8 мільйонах. Тобто, коли на датчик не виявляється жодного тиску, значення видається близьке до 8000000, якщо давити на датчик, то значення буде зменшуватися, а якщо тягнути (створювати протилежне зусилля) значення буде збільшуватися.

Щоб якимось цими числами користуватися, потрібно мати можливість зробити 2 речі:

- визначити нуль – знайти те число, яке вважати нулем. Наприклад, якщо на датчик встановлюється якесь обважування, яке саме по собі щось важить, то нульова точка зміститься (щодо датчика без будь-яких обважень), тому потрібна можливість вибирати за «початок координат» будь-яке число;

- визначити коефіцієнт, що дозволяє переводити числа кілограми чи ньютони. Адже навіть задаючи точку відліку, нам буде мало користі від чисел, наприклад -18954 або $+6780$, тоді як ми не знаємо, чим вони відповідають. Тобто потрібно відкалібрувати датчик, поклавши на нього вантаж відомої маси, і обчисливши коефіцієнт перетворення.

Таким чином, формула буде ось такою:

$$m = (r - r_0) / k,$$

де m – маса (або сила);

r – показання датчика у вигляді «сирих» чисел, що передаються

Arduino;

r_0 – показання датчика прийняті за нуль (початок відліку);

k – коефіцієнт пропорційності.

```

COM3
23:18:37.181 -> Ping: 0cm
23:18:37.368 -> Ping: 0cm
23:18:37.556 -> Ping: 0cm
23:18:37.790 -> Ping: 0cm
23:18:37.977 -> Ping: 0cm
23:18:38.164 -> Ping: 0cm
23:18:38.398 -> Ping: 0cm
23:18:38.575 -> Ping: 0cm
23:18:38.763 -> Ping: 0cm
23:18:38.997 -> Ping: 0cm
23:18:39.185 -> Ping: 0cm
23:18:39.372 -> Ping: 0cm
23:18:39.560 -> Ping: 0cm
23:18:39.794 -> Ping: 0cm
23:18:39.981 -> Ping: 0cm
23:18:40.169 -> Ping: 0cm
23:18:40.403 -> Ping: 0cm
23:18:40.591 -> Ping: 0cm
23:18:40.778 -> Ping: 0cm
23:18:40.966 -> Ping: 0cm
23:18:41.200 -> Ping: 0cm
23:18:41.387 -> Ping: 44cm
23:18:41.575 -> Ping: 0cm
23:18:41.809 -> Ping: 61cm
23:18:42.043 -> Ping: 60cm
23:18:42.278 -> Ping: 59cm
23:18:42.465 -> Ping: 58cm
23:18:42.699 -> Ping: 62cm
23:18:42.887 -> Ping: 62cm
23:18:43.074 -> Ping: 0cm
23:18:43.309 -> Ping: 52cm
23:18:43.543 -> Ping: 44cm
23:18:43.767 -> Ping: 44cm
23:18:43.955 -> Ping: 0cm
23:18:44.142 -> Ping: 0cm
23:18:44.377 -> Ping: 0cm
23:18:44.557 -> Ping: 0cm
23:18:44.791 -> Ping: 26cm
23:18:44.979 -> Ping: 0cm
23:18:45.166 -> Ping: 0cm
23:18:45.400 -> Ping: 0cm
23:18:45.588 -> Ping: 52cm
23:18:45.775 -> Ping: 0cm

```

Рисунок 3.7 – Виведення даних ультразвукового датчика

Щоб визначити r_0 , достатньо засікти, яке число видаватиметься за відсутності навантаження на датчик.

Для визначення коефіцієнту пропорційності потрібно:

– покласти на датчик відомий вантаж, наприклад, у 5 кілограм. Можна замість вантажу, докласти чинності у відому кількість ньютонів, контролюючи її за допомогою динамометра. Цю масу (або силу) будемо позначати m_k ;

– засікти, скільки в цей момент видає Arduino, це число позначимо як

r_k ;

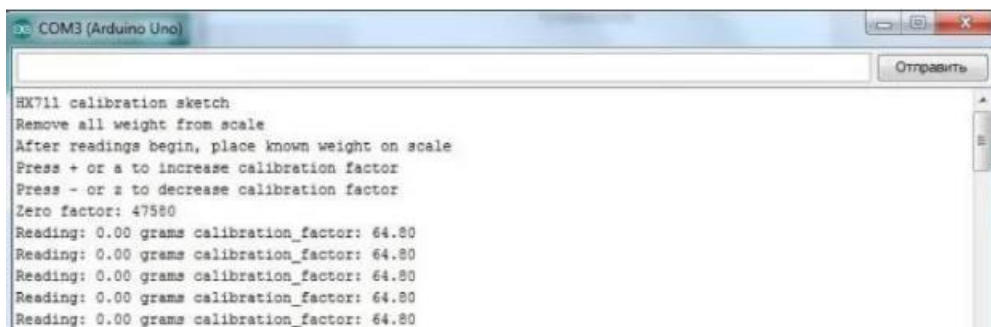
– підставити дані числа у вищезазначену формулу:

$$m_k = (r_k - r_0) / k;$$

– отримаємо значення:

$$k = (rk - r0) / mk.$$

Після того, як ми отримали ці значення, можна обчислювати масу (силу), що додається до датчика, виходячи з чисел, що видаються Arduino. Єдиний мінус – це не зручно робити через монітор порту (рис 3.8).

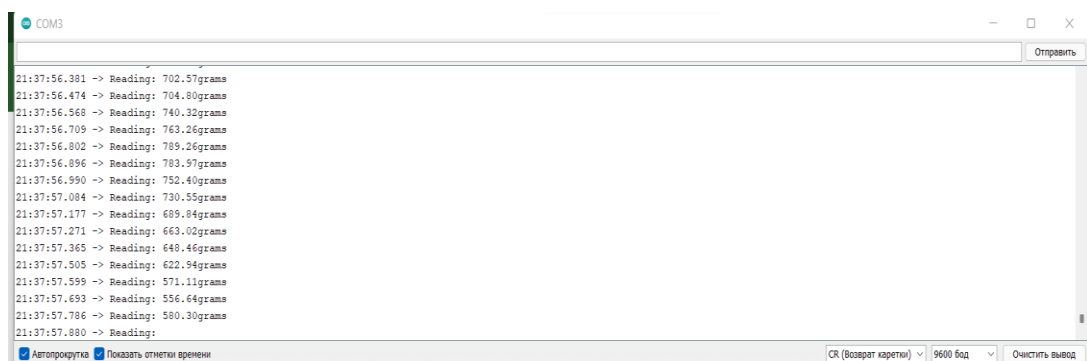


```

COM3 (Arduino Uno)
HX711 calibration sketch
Remove all weight from scale
After readings begin, place known weight on scale
Press + or a to increase calibration factor
Press - or z to decrease calibration factor
Zero factor: 47580
Reading: 0.00 grams calibration_factor: 64.80
Reading: 0.00 grams calibration_factor: 64.80
Reading: 0.00 grams calibration_factor: 64.80
Reading: 0.00 grams calibration_factor: 64.80
Reading: 0.00 grams calibration_factor: 64.80
  
```

Рисунок 3.8 – Виведення даних нестиснутого схвату

При невеликому поєднанні схвату без предмета сила вимірювалася в грамах (рис. 3.9).



```

COM3
21:37:56.381 -> Reading: 702.57grams
21:37:56.474 -> Reading: 704.80grams
21:37:56.568 -> Reading: 740.32grams
21:37:56.709 -> Reading: 763.26grams
21:37:56.802 -> Reading: 789.26grams
21:37:56.896 -> Reading: 783.97grams
21:37:56.990 -> Reading: 752.40grams
21:37:57.084 -> Reading: 730.55grams
21:37:57.177 -> Reading: 689.84grams
21:37:57.271 -> Reading: 663.02grams
21:37:57.365 -> Reading: 648.46grams
21:37:57.505 -> Reading: 622.94grams
21:37:57.599 -> Reading: 571.11grams
21:37:57.693 -> Reading: 556.64grams
21:37:57.786 -> Reading: 580.30grams
21:37:57.880 -> Reading:
  
```

Рисунок 3.9 – Виведення даних стиснутого схвату

3.4 Безпека життєдіяльності та охорона праці

Під час проектування сенсорної системи робота мають виконуватися заходи із охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Вимоги людської безпеки перед початком роботи:

- переконатися в справності і цілісності плати, АЦП, електропроводки, перемикачів, розеток, за допомогою яких з'єднується плата;

- заземлення;

- переконатися в справності USB портів та коректного підключення до ПК або акумуляторів;

- перевірити справність і виконати установку на робот плавких запобіжників для захисту слабкострумівих ланцюгів робота.

Під час роботи з роботом:

- забороняється торкатися руками з'єднуючих елементів плати, АЦП та торкатися датчиків;

- забороняється проводити очистку зволожуючими предметами, ремонт і механічну налаштування елементів робота і додаткового навісного обладнання у стані зарядки.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях:

- при виявленні несправності на роботі , треба відключити з'єднання плати до живлення.

- у всіх випадках ураження людини електричним струмом, випадках механічних пошкоджень від рухомих елементів навчального робота викликають лікаря, до прибуття лікаря необхідно термінове надання першої допомоги з метою уникнення можливих опіків, гематом, внутрішніх пошкоджень тощо [28].

Після закінчення роботи необхідно вимкнути робот і всі пристрої живлення.

3.5 Висновки до розділу 3

У запропонованому проєкті плата має на борту 6 аналогових входів, 14 цифрових виходів загального призначення (можуть бути як входами, так і виходами), кварцовий генератор на 16 МГц, два роз'єми: силовий та USB, роз'єм ISCP для внутрішньосхемного програмування та кнопку гарячого перезавантаження пристрою. Для стабільної роботи плату необхідно підключити до живлення через вбудований USB роз'єм, або підключивши роз'єм живлення до джерела від 7 до 12В. Через перехідник живлення плата також може працювати від батареї формату Крона.

Для підключення Arduino Uno до живлення використовувався кабель з роз'ємами типу USB-A та USB-B. Плата встановлюється до макету.

Основним призначенням ультразвукового датчика є вимірювання відстані до об'єкта, що контролюється, або реєстрація появи об'єкта в зоні поля зору датчика.

Ультразвукові датчики використовують ультразвукові хвилі як інформаційний носій. Перетворювач посилає імпульс звуку і перетворює прийнятий відбитий сигнал на напругу. Вимірявши час до приходу відбитого сигналу фактору швидкості звуку інтегрований в сенсор контролер розраховує відстань до об'єкта.

Для реалізації роботи сенсорної системи, за допомогою середовища розробки Arduino IDE були написані скетчі, (програмний код) який приймає датчики, підключені до самої плати та перетворює його в людиноподібний вигляд

Поєднання всіх компонентів дає можливість вимірювати відстані та силу стиснення.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі запропоновані системні та апаратно-програмні рішення на основі плати ARDUINO зі створення сенсорної системи робота для визначення відстані до об'єктів та визначення сили захвату маніпулятора.

Розроблена система дає змогу з заданою точністю отримувати інформацію про дальність об'єкта чи перешкоди, яку потрібно обійти, вимірювати температуру об'єкта і визначати силу стиснення на об'єкт у схопленні маніпулятора.

Задіяні сенсори потрібні для того, щоб роботи могли отримувати інформацію про себе та своє фізичне оточення. Причому всі вони працюють на різних фізичних принципах, що визначають і діапазон умов, у яких може бути забезпечена необхідна якість вимірів.

Завдання маніпуляційних роботів, які мають функціонально імітувати руки, полягає у виконанні різних операцій із об'єктами, тобто відчуття становища, руху та сили. Тобто потрібні датчики, які дозволяють визначити поточну конфігурацію та швидкості окремих частин робота, а також тактильні та силомоментні сенсори, особливо потрібні для забезпечення надійного захоплення об'єктів маніпулювання, а також контролю сил взаємодії з об'єктами, середовищем та людиною, щоб, наприклад, якісно виконати контактну операцію та не пошкодити робота або не завдати травми людині, яка знаходиться поблизу або у безпосередньому дотику.

Як і скрізь у робототехніці, фокус багато в чому зміщується від апаратного забезпечення до програмного забезпечення. З погляду сенсорики можна виділити би два напрями: інтерференційні виміри, або віртуальні сенсори (soft sensing), і високорівневе комплексування інформації (sensor fusion).

Перший підхід дозволяє точно і режимі реального часу відновлювати значення незмірних безпосередньо фізичних величин. Це особливо

актуально, якщо конструктивно датчик неможливо встановити або це дуже затратно.

Запропоновані рішення допомагають розширити можливості робота маніпулятора та встановити потрібні для нього датчики.

Створений макет як в аналогу робота-маніпулятора зможе точно обчислити необхідну дистанцію і силу стиснення схвату маніпулятора. Така технологія не дасть можливості помилитися, нашкодити людині, або вдаритися роботом про перешкоду, так само контролювати силу стиснення, особливо з крихкими об'єктами.

Мінусами даної технології є те, що робот не автоматизований до кінця, якщо керуючий роботом не помітить дані про наближення до об'єкта і буде їхати далі то робот зустрінеться з перешкодою.

Однак, є багато запропонованих видів модернізації робота, при заміні плати, можна поставити камеру, яка зможе добре відображати все, що бачить робот в день і вночі за допомогою вбудованих інфрачервоних датчиків, для покращеної роботи маніпулятора потрібно встановити датчики для визначення положення маніпулятора в просторі.

Всі ці варіанти однозначно покращать роботу робота-маніпулятора. Наприклад, відстань до навколишніх предметів можна вимірювати за допомогою сонарів, інфрачервоних далекомірів, ToF-камер, радарів або лідарів (скануючих лазерних далекомірів), тобто використовуючи випромінювання різних довжин хвиль. І якщо перші сліпнуть на ворсистих поверхнях, другі починають брехати при фоновому ІЧ-випромінюванні, треті – при вимірюванні відстані до темних поверхонь, то лідари вигідно відрізняються за роздільною здатністю та діапазоном, але явно програють за ціною. Також зрозуміло, вибір тих чи інших датчиків залежить від середовища їх передбачуваного використання.

Для робота була спроектована сенсорна система з ультразвуковими датчиками і тензодатчиками, за допомогою Arduino та Arduino IDE був написаний скетч, який виводить дані користувачеві на екран для розуміння

обстановки в цілому, користувач зможе отримувати інформацію про дальність об'єкта або перешкоди, яку потрібно обійти, виміряти температуру і саме. головне у схопленні робота маніпулятора розуміти силу стиснення на об'єкт.

Ефективність варіантів побудови роботів-маніпуляторів слід розглядати в таких аспектах:

– соціальний. Роботи маніпулятори здатні виконувати складну, багату на різноманітні рухи, але не потребує особливих навичок, кваліфікації, великого досвіду або творчого підходу роботу. В умовах демографічної ями, скорочення пропозиції робочої сили та розвитку сектора послуг, на монотонну та одноманітну роботу готово йти дедалі менша кількість людей. Машини замінюють людей там, де останнім працювати стає просто нецікаво. Але за кордон не можна виводити пріоритетні галузі: виробництво військової техніки, точне машинобудування. Тут прийнятний лише другий шлях. Але хтось, як і раніше, повинен займатися проектуванням та обслуговуванням робототехніки, а тому соціальної проблеми безробіття не виникає;

– економічний аспект тісно пов'язаний із попереднім – соціальним. Скорочення пропозиції робочої сили спричиняє її подорожчання. У той час як самі роботи маніпулятори вдосконалюються та здешевлюються. Економічно стає набагато вигідніше купувати техніку, а не наймати робітників. Та й продуктивність праці у машин, як правило, вища. Не виникає труднощів і з такими явищами як прогули, хвороби, запізнення. Виробництво зможе працювати у режимі 24×7;

– технічний. Він повністю зав'язаний таких питаннях як: управління маніпулятором, підвищенням його продуктивності, можливості впровадження деякі ділянки технологічної лінії (особливу складність представляє завдання узгодження його роботи з роботою іншого виробничого устаткування). І якщо в масовому виробництві вже вдалося автоматизувати або комплексно механізувати як основні, так і допоміжні технологічні процеси, то в серійному та дрібносерійному – лише основні.

Значна частина допоміжних операцій часто виконується вручну або із застосуванням засобів малої механізації.

Зростання робототехніки справа часу, підбивши підсумки, можна прийти до того, що пандемія прискорює процес все більше і роботи розвиваються, у зв'язку з тим, що люди не могли залишати самоізоляцію, а виробництво зупинялося, почалося масове замінення робочої сили.

Робототехніка вигідніша з економічної точки зору, і дає менший шанс на помилки у виробництві та підвищує в рази продуктивність.

Сенсорна система доводиться до автоматизму, що дозволяє людині лише спостерігати за тим, як роботи ідеально справляються зі своєї роботи без відпочинку та без відпускних.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008: 2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. К.: ДП “УкрНДНЦ”. 2016. 30 с.
2. Невлюдов І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»: Навч. Посібник. І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, Г.В. Пономарьова. К. : пр. Космонавта Комарова, 1. 2016. 245 с.
3. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «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, 2021. 55 с.
4. NEWS ABB. URL: <https://new.abb.com/news/ru/detail/83210/logistics-goes-for-robots-due-to-pandemic> (дата зверення 17.11.2021).
5. Мелехин В.Б. Алгоритмы самообучения интегрального работа в сложных средах // Молодой ученый, 2017. №16. С. 125-130.
6. Robotrends. URL: <http://robotrends.ru/pub/2042/trendy-rynka-kollaborativnyh-robotov-za-chem-sledit-v-blizhayshie-gody> (дата зверення 05.11.2021).
7. Юревич Е.И. Сенсорные системы в робототехнике: учеб. Пособие. Е. И. Юревич. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 100 с.
8. Борисовський А.С. Автоматизація проектування сенсорної системи маніпуляційного робота // АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021) [Електронний ресурс]: збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. Харків : ХНУРЕ, 2021. Вип. 2. С. 30–34.

9. Борисовський А.С., Безкоровайний В. В. Автоматизація проектування сенсорної системи маніпуляційного робота // Комп'ютерно-інтегровані технології автоматизації технологічних процесів на транспорті та у виробництві. Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. Харків, ХНАДУ, 2021. С. 57–60. URL: <https://mf.khadi.kharkov.ua/departments/avtomatizaciji-ta-kompjuterno-integrovanikh-tekhnologii/konferencija-kit/kit-2021/> (дата звернення 11.12.2021).

10. Шахинпур М. Курс робототехники. Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 527 с.

11. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 624 с.

12. Roborplatform. URL: https://www.robotplatform.com/knowledge/sensors/types_of_robot_sensors.html (дата звернення 10.11.2021).

13. 3d . URL: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-datchiki/> (дата звернення 25.11.2021).

14. KiNews. URL: <https://ki-news.ru/2021/02/10/10-novyh-robotov-kotorye-izmenyat-mir/> (дата звернення 03.12.2021).

15. ELDomо. URL: <https://eldomo.ru/stroitelstvo/princzip-raboty-i-raznovidnosti-infrakrasnyh-datchikov-dvizheniya> (дата звернення 15.11.2021).

16. VC.RU URL: <https://vc.ru/tech/122507-perspektivy-razvitiya-robototekhniki> (дата звернення 03.12.2021).

17. Авцинов И. А., Битюков В. К. Основы роботизации, гибких производственных систем, организационно-технологического управления и транспортно-складских систем. Воронеж: Воронежская гос. технол. академия, 2009. 94 с.

18. Корецкий А. В., Созинова Е. Л. Обратная задача кинематики и

прямая задача динамики о вертикальном подъёме груза четырёхзвенным манипулятором // Trends in Applied Mechanics and Mechatronics.

19. Стрельцов О.В., Даниленко А. О. Методы определения расстояния до препятствия при движении мобильного робота // Праці Одеського політехнічного університету, 2013. Вип. 2(41). С. 238–25.

20. Бурдаков С. Ф., Дьяченко В. А., Тимофеев А. Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и робототизированных комплексов. М.: Высшая школа, 1986. 264 с.

21. KUKA Roboter GmbH. URL: http://rus-robot.com/articles/kuka_istoriya_kompanii/ (дата зверення 08.11.2021).

22. Hwang K-S., Chen Y-J., Hong H-C. Autonomous Exploring System Based on Ultrasonic Sensory Information, Department of Electrical Engineering Nation-al Chung Cheng University Chai-Yi, Taiwan. Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2004. Vol. 39. Iss. 3. P. 307–331.

23. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480 с.

24. Макаров И. М., Топчеев Ю. И. Робототехника: История и перспективы. М.: Наука; Изд-во МАИ, 2003. 349 с.

25. Киреев П. С. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975. 584 с.

26. ALEXGYVER. URL: <https://alexgyver.ru/arduino-first/> (дата зверення 17.11.2021).

27. KseNews. URL: <https://www.hse.ru/news/439946647.html> (дата зверення 06.12.2021).

28. StudUa. URL: https://stud.com.ua/28537/bzhd/bezpeka_funktsionuvanny_a_avtomatizovanih_robotizovanih_virobnitstv (дата зверення 07.12.2021).

29. Sonocsape. URL: <https://sonoscape.ru/events/news/59-ultrazvukovye-skanery-vse-o-datchikah.html> (дата зверення 28.11.2021).

30. XN. URL: <https://xn--80ahcihantk0bg4d.com/stati/12-podrobno-ob->

odnotochechnykh-tenzodatchikakh-single-point-zemic-usa-inc (дата звернення 05.11.2021).

31. Smartgopro. URL: <https://smartgopro.com/novosti2/automation/> (дата звернення 27.10.2021).

32. GPNTB. URL: <http://www.gpntb.ru/win/book/3/Doc15.HTML> (дата звернення 07.11.2021).

33. Milandr. URL: <https://milandr.ru/upload/iblock/4bf/4bf1c97fcce29-6a450d7b68bb0fc65b0.pdf> (дата звернення 06.11.2021).

34. Tekhnosfera. URL: <https://tekhnosfera.com/metody-i-sredstva-obrabotki-signalov-s-induktivnyh-datchikov-v-mikrokontrollernyh-sistemah> (дата звернення 05.11.2021).

35. Docplayer. URL: <https://docplayer.com/26355662-Zahvatnye-ustroystva-promyshlennyh-robotov.html> (дата звернення 11.10.2021).