

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

КОМПЛЕКСНА БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод. Частина 1.

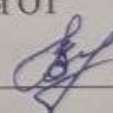
Апаратне забезпечення»

08-54. КБКР.040.00.000 ПЗ

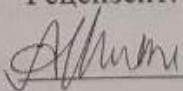
Виконав: студент 4 курсу, групи ІСП-216
спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія
освітня програма — «Системне програмування»

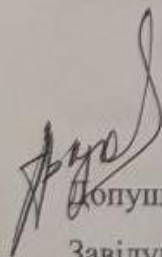
 Заїченко І. Г.

Керівник: к.т. н., доц. кафедри ОТ

Богомолів С. В. 

Рецензент: к.фіз.-мат. н., доц. кафедри МБіС

 Шиян А. А.



Допущено до захисту

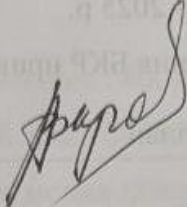
Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., проф. Азаров О.Д.

13.06 2025 року

Вінниця ВНТУ — 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузь знань — 12 — Інформаційні технології
Спеціальність — 123 — Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма — Системне програмування


ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., проф. _____ Азаров О.Д.

«21» березня 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КОМПЛЕКСНУ БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Заїченко Івану Григоровичу 

- 1 Тема роботи: Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод. Частина 1. Апаратне забезпечення, керівник роботи Богомолів Сергій Віталійович, к.т.н., доцент кафедри ОТ, затверджено наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2025 року №97.
- 2 Термін подання студенткою роботи 13.05.2025
- 3 Вихідні дані до роботи: технічна документація на модуль Keyestudio v4.0, технічна документація із прикладами підключення та налаштування основних датчиків та модулів, базові схеми підключення усіх компонентів пристрою.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ; аналіз вимог та вибір компонентів; конструкція та збірка кіберфізичного комплексу; електроніка та комунікаційні можливості; висновки.
- 5 Перелік ілюстративного матеріалу: повна розпіновка плати Arduino UNO; розпіновка датчика кольору TCS34725; розпіновка ультразвукового датчику HC-SR04; основні елементи драйвера двигунів Keyestudio HR8833;
- 6 Консультанти розділів роботи приведено в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи				
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата		Підпис
		видав	прийняв	
1-3	Богомолів С. В., к.т.н., доцент каф. ОТ	21.03.25	13.05.25	
Нормоконтроль	ас. каф. ОТ Швець С. І.	14.05.25	30.05.25	

7 Дата видачі завдання 21.03.2025 р.

8 Календарний план виконання БКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план			
№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання	Підпис
		21.03.25 — 30.05.25	
1	Аналіз завдання	21.03.25 — 30.05.25	
2	Огляд кіберфізичних систем	21.03.25 — 30.05.25	
3	Аналіз вимог до кіберфізичних систем	21.03.25 — 30.05.25	
4	Огляд і вибір апаратних компонентів	31.03.25 — 13.04.25	
6	Аналіз конструкцій міні-танка Keyestudio Mini Caterpillar Tank	14.04.25 — 27.04.25	
7	Інтеграція сенсорів та виконавчих механізмів	14.04.25 — 27.04.25	
9	Виявлення можливих апаратних проблем	14.04.25 — 27.04.25	
10	Реалізація живлення та оцінка енергоспоживання системи	14.04.25 — 27.04.25	
11	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	28.04.25 — 11.05.25	
12	Перевірка якості виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	13.05.25	

Студент



Іван ЗАЇЧЕНКО

Керівник роботи



к.т.н., доц. каф. ОТ Сергій БОГОМОЛОВ

АНОТАЦІЯ

УДК 004.77:004.738.5

Заїченко І. Г. Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод. Бакалаврська кваліфікаційна дипломна робота зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», освітня програма «Системне програмування». Вінниця: ВНТУ, 2025. 67 с.

На укр.мові. Бібліогр.: 23 назви, рис.: 40, табл.: 7.

У комплексній бакалаврській кваліфікаційній роботі реалізовано апаратну частину кіберфізичного комплексу в межах кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод.

В роботі спроектовано структуру апаратної частини кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод. Інтегровано датчики, що роблять можливим процес обходу перешкод та збору даних. Серед таких ультразвуковий датчик відстані та датчик кольору.

У роботі описані основні апаратні компоненти та обґрунтований їх вибір. Також наведені теоретичні відомості про основні модулі та мікроконтролер Keyestudio v4.0, а також наведені загальні схеми підключення компонентів до мікроконтролера.

Ключові слова: кіберфізичний комплекс, мікроконтролер Keyestudio v4.0, Arduino, датчик, модуль.

ABSTRACT

Zaichenko I. H. Cyber-Physical Data Collection System with Obstacle Avoidance Capability. Bachelor's Qualification Thesis in Specialty 123 "Computer Engineering", Educational Program "System Programming". Vinnytsia: VNTU, 2025. 70 p.

In Ukrainian. Bibliography: 23 titles, figures: 40, tables: 7.

This comprehensive bachelor's qualification thesis presents the implementation of the hardware part of a cyber-physical system for data collection with obstacle avoidance capability.

The work includes the design of the hardware structure of the cyber-physical data collection system with integrated sensors enabling data collection and obstacle avoidance. These include an ultrasonic distance sensor and a color sensor.

The thesis describes the main hardware components and justifies their selection. Theoretical information is provided on key modules and the Keystudio v4.0 microcontroller, along with general connection schemes for components to the microcontroller.

Keywords: cyber-physical system, Keystudio v4.0 microcontroller, Arduino, sensor, module.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ВИМОГ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ	6
1.1 Огляд кіберфізичних систем та вибір компонентів	6
1.1.1 Визначення поняття кіберфізичних систем.....	6
1.1.3 Вимоги до кіберфізичних комплексів	15
1.2 Формування вимог до розроблюваного комплексу	18
1.3 Огляд і вибір апаратних компонентів	19
2 КОНСТРУКЦІЯ ТА ЗБІРКА КІБЕРФІЗИЧНОГО КОМПЛЕКСУ	27
2.1 Опис конструкції міні-танка Keyestudio Mini Caterpillar Tank	27
2.1.1 Загальний опис конструкції шасі	27
2.1.2 Особливості механічної частини	29
2.1.3 Взаємодія компонентів конструкції	30
2.2 Інтеграція сенсорів та виконавчих механізмів	32
2.2.1 Підключення ультразвукових датчиків для виявлення перешкод та ідентифікації кольору	32
2.2.2 Підключення сервопривода.....	37
2.2.3 Робота з моторами та драйверами моторів.....	37
2.3 Тестування апаратної частини	40
2.3.1 Первинне тестування окремих елементів.....	40
2.3.2 Діагностика роботи двигунів та сенсорів.....	40
2.3.3 Виявлення можливих апаратних проблем	43
3 ЕЛЕКТРОНІКА ТА КОМУНІКАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ	45
3.1 Загальні схеми підключення компонентів робота	45
3.2 Способи обміну даними між компонентами	50
3.3 Живлення та енергоспоживання системи.....	51
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТОК А Технічне завдання	59

ДОДАТОК Б Протокл перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи	63
ДОДАТОК В Ілюстративна частина	64

ВСТУП

У сучасному світі розвиток робототехніки, мікроелектроніки та систем управління відкриває широкі можливості для інтелектуальних пристроїв, здатних автономно, без втручання людини, взаємодіяти і фізичним середовищем. Особливу роль у розвитку вище перерахованих напрямків відіграють кіберфізичні системи. Кіберфізичні системи поєднують у собі як і обчислювальні ресурси, так і фізичні пристрої для впливу на навколишнє середовище. Вони дозволяють ефективно виконувати завдання моніторингу, аналізу та впливу на фізичні об'єкти у реальному часі. Одним із прикладів таких систем є роботизована система для самостійного переміщення, збору даних та реагування на зміни у навколишньому середовищі.

Актуальність теми полягає у інтеграції різних апаратних компонентів — мікроконтролерів, сенсорів та виконавчих механізмів — у єдину, узгоджену систему, що здатна виконувати поставлені задачі не гірше ніж більш дорогі технічні рішення. Зростання доступності мікроконтролерів а також інших різноманітних датчиків та модулів відкривають нові можливості для проектування кіберфізичних пристроїв. Однією із доступних платформ є Keyestudio Mini Caterpillar — не великий за розміром гусеничний міні-танк, що може слугувати базою для створення власно кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод.

Проект повністю узгоджується із науковими та навчальними напрямками факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, зокрема з дослідженнями кафедри обчислювальної техніки у сфері кіберфізичних систем та їх застосування в IoT-середовищах. Реалізація даної розробки спрямована на отримання практичних навичок у сфері інтеграції апаратного та програмного забезпечення, створення алгоритмів керування рухом, а також на забезпечення функціональної надійності та енергоефективності системи.

Метою роботи є створення прототипу кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод на базі Keyestudio Mini Caterpillar, що буде здатний до автономного переміщення, виявлення перешкод та їх обходу, збору інформації з сенсорів та реакції на зміни в фізичному середовищі, у якому він буде тестуватися

та використовуватися. Завдання, що стоять перед дослідженням включають у себе такі аспекти:

- вибір та обґрунтування апаратної платформи;
- побудова схем підключення усіх елементів, датчиків та модулів;
- інтеграція програмного забезпечення для контролю руху;
- аналізу даних з сенсорів;
- забезпечення оптимального енергоспоживання.

Об’єктом дослідження є кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод на базі Keyestudio Mini Caterpillar.

Предметом дослідження є структура, принципи побудови та особливості функціонування апаратної та програмної частини у синергії.

Методами дослідження є моделювання апаратної частини її тестування та інтеграція програмного забезпечення.

Апробація результатів бакалаврської роботи: зроблено доповідь на LIV науково-технічну конференцію підрозділів ВНТУ [1].

Публікація за темою роботи: Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод // Богомолів С. В., Заїченко І. Г., Данилюк І. В. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (Вінниця, 2025) [Електронний ресурс].

Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2025/paper/download/24075/19939>

1 АНАЛІЗ ВИМОГ ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ

1.1 Огляд кіберфізичних систем та вибір компонентів

1.1.1 Визначення поняття кіберфізичних систем

Кіберфізична система — це механізм, що контролюється або відстежується комп'ютерними алгоритмами і тісно пов'язаний з Інтернетом та його користувачами. В кіберфізичних системах програмне забезпечення тісно пов'язано з фізичними об'єктами [2]. Її робота базується на принципі взаємо-зворотньому зв'язку між сенсорами, що збирають різноманітні дані з навколишнього середовища, системою, що обробляє покази сенсорів по заданому алгоритму у програмному забезпеченні, та виконавчими пристроями що змінюють стан об'єкта в залежності від прийнятих рішень. Загальна структура кіберфізичних систем складається із наступних компонентів:

- фізичне середовище — пристрої, механізми або середовищами з якими вміє взаємодіяти кіберфізична система;

- сенсори — пристрої, що напряму взаємодіють із навколишнім середовищем шляхом збору даних, таких як температура, волога, тиск, рівень шуму тощо;

- контролери та мікроконтролери — пристрої, що забезпечують обчислення, прийняття рішень на основні отриманих даних та керування усією кіберфізичною системою за заданим алгоритмом;

- програмне забезпечення — частина кіберфізичної системи що містить у собі логіку поведінки та керування самим пристроєм;

- виконавчі пристрої-механізми — компоненти кіберфізичної системи такі як моторчики, сервоприводи, реле, дисплеї, які виконують певні дії у відповідь на обчислені команди;

- комутаційні інтерфейси — забезпечують зв'язок між усіма компонентами кіберфізичних систем, наприклад, дротові — UART, I2C, SPI, бездротові — Wi-Fi, Bluetooth, LoRa тощо;

— інтерфейси взаємодії із користувачами — дисплеї, веб-застосунки, мобільні додатки, що дозволяють користувачеві відстежувати стан усіх кіберфізичної системи або ж окремих її компонентів [3].

Кіберфізичні системи не належать до якоїсь конкретної дисципліни технологій, а охоплюють елементи усіх інформаційних та технічних дисциплін — інформатики, електроніки, автоматики, механіки та навіть штучного інтелекту.

1.1.2 Галузі застосування кіберфізичних систем

Кіберфізичні системи набули та продовжують набувати широкого поширення у сучасному світі через їхню здатність поєднувати у собі фізичні та цифрові процеси в єдине кероване користувачем середовище. Основна перевага кіберфізичних систем — здатність у реальному часі приймати рішення, на основі отриманих даних, реагувати на прийняті рішення, пливати на фізичне середовище та передавати дані про стан до кінцевого користувача. У сьогоденні все більше і більше галузей віддають перевагу кіберфізичним системам. Далі наведені деякі галузі, що використовують кіберфізичні.

Основою так званої «четвертої промислові революції», що орієнтується на повну автоматизацію та цифрову трансформацію виробничих процесів, стали кіберфізичні системи. Основні функції кіберфізичних систем у промисловій автоматизації:

- моніторинг усього виробничого та технологічного процесу у реальному часі;
- прогнозування відмов (predictive maintenance);
- адаптивне управління виробництвом;
- автоматизації прийняття рішень.

Технічні особливості кіберфізичних систем у промисловій адаптації:

- сенсорні мережі;
- вбудовані мікроконтролери;
- протоколи обміну даними;

— інтеграція з ERP/MES-системами.

Приклади кіберфізичних систем у промисловій автоматизації:

— фабрики Siemens, Bosch, Samsung з системами автоматизованого керування виробничими лініями;

— розумні конвеєри, що здатні приймати рішення про швидкість та напрямок руху в залежності від наявної ситуації (рисунок 1.1).

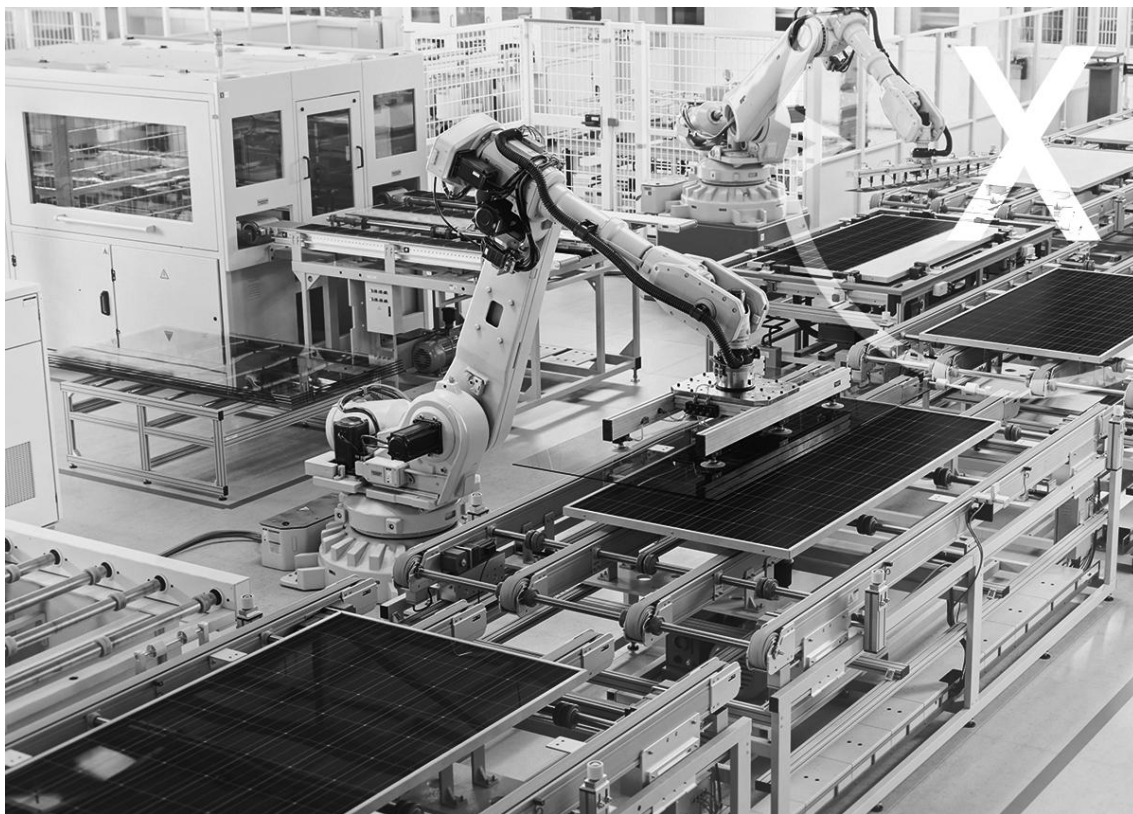


Рисунок 1.1 — Автоматизований конвеєр

У сучасні робототехніці кіберфізичні системи використовуються для створення високорівневих автоматичних систем, які здатні функціонувати без постійного контролю. Ключові можливості кіберфізичних систем у робототехніці:

- орієнтація у просторі за допомогою технологій SLAM, GPS, INS;
- розпізнавання об'єктів з використанням технологій машинного навчання та нейронних мереж;
- уникнення перешкод;
- співпраця та обмін даними між подібними пристроями.

Для технічної реалізації вищезазначених можливостей використовуються певні модулі та технології:

- використання мікропроцесорних систем, таких як Raspberry Pi, NVIDIA Jetson, Arduino Mega, ESP32;
- різноманітні сенсори — лідари, ультразвукові сенсори, GPS-трекери;
- модулі та технології зв'язку — Wi-Fi, ZigBee, LoRa для взаємодії з іншими пристроями.

Приклади кіберфізичних систем у робототехніці:

- автоматизовані роботи для доставки замовлень, наприклад, Amazon Scout (рисунок 1.2);
- дрони для інспекції та моніторингу, наприклад, DJI;
- медичні роботи, що здатні асистувати при проведенні хірургічних втручань, наприклад, Da Vinci Surgical System.



Рисунок 1.2 — Автономний робот-доставщик Amazon Scout

Кіберфізичні системи є основою для поняття інтернету речей, що включає у себе як і прості побутові системи та прилади, так і масштабні рішення. Сфери застосування:

- системи розумних будинків;
- системи розумного міста;

- моніторинг екологічних параметрів;
- сільське господарство.

Архітектура кіберфізичних систем для інтернету речей повинна або може містити у собі:

- велику кількість різноманітних пристроїв та датчиків для збору та моніторингу зовнішніх факторів;
- обробка даних на Edge або у хмарі;
- як централізоване так і децентралізоване управління;
- інтеграція з веб-застосунками або ж мобільними додатками для зручності користування та постійного моніторингу.

Прикладом кіберфізичних систем з інтеграцією інтернету речей є:

- приклади що входять до складу системи розумного дому Google;
 - електронні табло або ж додатки для відстеження громадського транспорту
- EasyWay (рисунок 1.3).

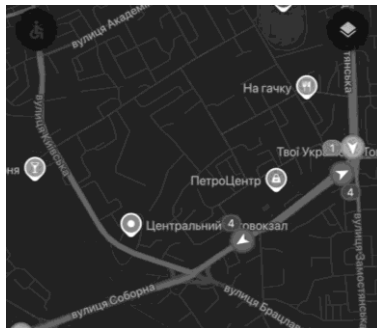


Рисунок 1.3 — Застосунок для відстеження громадського транспорту
EasyWay

Інтелектуальні медичні пристрої, як-от імпланти або сенсори, дають змогу в реальному часі контролювати життєво важливі показники пацієнтів [2]. Такі системи є досить актуальними та корисними оскільки вони виключають «людський фактор». Такі системи можуть містити у собі такий функціонал:

- постійний контроль життєвих показників;
- роботизоване лікування та реабілітація;

— адаптивна фармакотерапія.

Для коректної працездатності таких систем використовуються такі технології:

- мобільні (бездротові) пристрої з сенсорами;
- мікроконтролери з низьким енергоспоживанням;
- бездротовий зв'язок для з'єднання із бездротовим датчиками;
- інтерфейси для обробки великої кількості даних.

Приклад кіберфізичних систем, що використовуються у медицині:

- кардіо-браслети для відстеження серцевого ритму, а також для визначення вмісту кисню у крові;
- інсулінові помпи для моніторингу рівня цукру у крові та автоматичного визначення дозування та введення інсуліну в організм (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 — Інсулінова помпа

Інтеграція кіберфізичних систем у транспортні засоби є однією із найдинамічніших галузей. Такі системи використовуються в:

- автомобілях — ADAS, система автопілота, система утримання у полосі, адаптивний круїз-контроль, адаптивні склоочисник тощо;
- повітряному транспорті — беспілотні літальні апарати, складні авіонічні системи;

У таких системах є ряд функціональних елементів, що забезпечують їх працездатність:

- відеокамери, лідари, радары, ультразвукові сенсори;
- електронні блоки управління;
- інтегровані картографічні модулі.

Прикладом таких систем є:

- автомобілі бренду Tesla з повністю автономним режимом керування автомобілем та функцією автоматичного паркування;
- безпілотні вантажівки для перевезення матеріалів та товарів в закритих зонах;
- авіонічні системи у літаках, наприклад, Garmin (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 — Авіоніка Garmin

Кіберфізичні системи в енергетиці забезпечують ефективну генерацію, споживання та найголовніше розподіл електроенергії. Ключові функції таких систем:

- моніторинг енергоспоживання;
- оптимізація навантаження у мережі;
- балансування між генерацією електроенергії та її споживанням.

Для технічної реалізації кіберфізичних систем у електроенергетиці використовуються такі компоненти:

- смарт лічильники

- інтернет речей мережі для збору даних та відстеження показників у реальному часі;

- інтелектуальні системи контролю навантаження.

Серед прикладів кіберфізичних систем інтегрованих у енергетику та мережі можна виділити такі:

- розумні міські електромережі у Нідерландах;
- побутові сонячні батареї, що здатні передавати надлишок енергії до загальної мережі.

Кіберфізичні системи у сфері безпеки та оборони дозволяють вести постійний моніторинг можливих загроз та дозволяють оперативно виконувати дії для їх знищення. Такі системи використовуються у:

- системах відеонагляду з розпізнавання обличчя, відстеження руху та можливістю надсилати інформацію про можливу небезпеку;
- розвідувальні безпілотники;
- різні військові системи.

Прикладом таких систем можуть бути:

- системи моніторингу периметра з різними допоміжними датчиками;
- роботи-сапери, які дають виконувати знешкодження вибухових пристроїв дистанційно, без загрози для життя людей (рисунок 1.6);
- автономні системи патрулювання прикордонних територій.

Сільське господарство. Кіберфізичні системи можуть бути використані й використовуються практично в будь-якій галузі сільського господарства: в рослинництві, тваринництві, під час переробки сировини, транспортування, зберігання, реалізації продукції тощо [4]. Використання кіберфізичних систем у сільському господарстві дозволяє підвищити врожайність, зменшити витрати на утримання господарств а також автоматизувати монотонні завдання. Серед функцій таких систем можна виділити:

- аналіз стану ґрунту, його вологості та вмісту мінералів або ж шкідливих речовин у ньому;

- моніторинг погоди;
- управління поливом;
- автоматизоване збирання врожаю.

Прикладом кіберфізичних систем інтегрованих у сільське господарство є:

- дрони для аерофотозйомки полів (рисунок 1.7);
- роботи для збору ягід та фруктів;
- системи точкового поливу, що включаються лише за необхідності та лише у потрібних місцях.



Рисунок 1.6 — Робот-сапер



Рисунок 1.7 — Дрон для аерофотозйомки полів

1.1.3 Вимоги до кіберфізичних комплексів

Дотримання вимог до кіберфізичних комплексів є надзвичайно важливим етапом у процесі технічного та функціонального проектування систем, які поєднують у собі обчислювальні можливості, засоби автоматизованої обробки інформації, а також фізичну взаємодію із навколишнім середовищем. Кіберфізичні комплекси розглядаються сьогодні не лише як набір окремих апаратних чи програмних компонентів, а як цілісні інтелектуальні системи, здатні працювати в реальному часі, приймати рішення, обмінюватися даними з іншими пристроями та адаптуватися до змін умов навколишнього середовища. Відповідно, будь-яка така система — незалежно від її кінцевого призначення, чи то мобільний робот, елемент «розумного дому», промислова установка чи частина інфраструктури Інтернету речей — повинна відповідати широкому спектру взаємопов'язаних вимог. Саме вони забезпечують її працездатність, безпеку, надійність, здатність до масштабування та подальшої інтеграції в більші технологічні екосистеми.

Формування вимог до кіберфізичного комплексу починається вже на ранніх етапах — з моменту концептуального опрацювання ідеї. Згодом ці вимоги трансформуються в конкретні технічні характеристики, які реалізуються як у

схемотехнічному плануванні, так і в програмному забезпеченні. Першою базовою вимогою є забезпечення надійної та постійної взаємодії з навколишнім середовищем. Це означає, що комплекс повинен бути обладнаний сенсорами, які дозволяють здійснювати моніторинг ключових фізичних параметрів середовища в режимі реального часу. До таких параметрів можна віднести температуру, вологість, освітленість, наявність перешкод, рух, концентрацію газів тощо. Усі встановлені сенсори мають бути точними, чутливими, стабільними у довготривалій роботі, а також адаптованими до умов експлуатації (захист від пилу, вологи, перепадів температур тощо). Дані, зібрані з сенсорів, повинні швидко передаватися до мікропроцесорного контролера, оброблятися відповідно до заданих алгоритмів і впливати на прийняття рішень або формувати зворотний сигнал до виконавчих пристроїв.

Другою важливою вимогою є автономність системи, тобто здатність функціонувати без постійного зовнішнього керування або людського втручання. У сучасному динамічному середовищі кіберфізичні комплекси мають самостійно орієнтуватися, оцінювати ситуацію та ухвалювати рішення. Наприклад, мобільний робот повинен бути здатен виявляти перешкоди на своєму шляху, обходити їх, знаходити нові маршрути, реагувати на непередбачувані обставини — наприклад, зміни у рельєфі, рівень освітлення або присутність об'єктів, які не були передбачені на момент проєктування. Автономність також тісно пов'язана з поняттями адаптивності та гнучкості, які визначають здатність системи змінювати свою поведінку у відповідь на зміну зовнішніх або внутрішніх умов.

Наступним важливим аспектом є надійність. Оскільки кіберфізичні системи все частіше застосовуються в критично важливих сферах — таких як транспорт, охорона здоров'я, енергетика, оборонна промисловість — особлива увага приділяється забезпеченню безперебійної роботи навіть у разі часткових відмов. Надійна система повинна мати механізми самодіагностики, виявлення помилок, ізоляції несправних модулів, а також алгоритми безпечного завершення операцій у разі виникнення критичної помилки. Стійкість до відмов є запорукою того, що

система не спричинить небезпечної ситуації навіть у непередбачуваних умовах експлуатації.

Крім того, важливою характеристикою є модульність і масштабованість. Зі збільшенням вимог до функціональності або розширенням завдань, які виконує система, вона повинна мати можливість інтеграції додаткових компонентів (нових сенсорів, виконавчих механізмів, комунікаційних модулів) без повного перепроєктування або перезавантаження всієї архітектури. Модульна структура значно полегшує модернізацію, обслуговування, оновлення програмного забезпечення, а також дозволяє адаптувати комплекс до різних умов використання, включаючи зміну апаратної платформи або програмних протоколів.

Не менш важливими вимогами є інформаційна безпека та конфіденційність. Оскільки кіберфізичні комплекси збирають, зберігають та передають великі обсяги даних, у тому числі персональних або чутливих, необхідно впроваджувати сучасні методи захисту інформації — шифрування, контроль доступу, автентифікацію, механізми виявлення атак або несанкціонованого втручання.

Таким чином, до ключових вимог, що висувуються до кіберфізичних систем, відносяться: безпека, надійність, адаптивність, здатність до автономної роботи, енергоефективність, модульність, масштабованість, здатність до роботи в реальному часі, інформаційна безпека, взаємодія з іншими пристроями через стандартизовані протоколи, а також відповідність до нормативів і стандартів, прийнятих у сфері автоматизованих систем управління та IoT.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що лише при повному дотриманні вищезазначених вимог можливо створити ефективну, надійну та конкурентоспроможну кіберфізичну систему, готову до впровадження у реальні умови експлуатації. В іншому випадку існує ризик зниження якості роботи, збоїв у функціонуванні або навіть повної втрати контролю над системою. Тому на етапі проєктування варто враховувати не лише технічні параметри окремих компонентів, але й системні властивості комплексу в цілому, орієнтуючись на комплексний підхід до створення сучасного кіберфізичного рішення.

1.2 Формування вимог до розроблюваного комплексу

На етапі формулювання вимог до розробки кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод особливу увагу слід приділити майбутнім задачам та умовам, у яких планується використовувати систему. Правильне формулювання вимог та в подальшому дотримання їх під час проектування дозволяє забезпечити високий рівень надійності, ефективності та адаптивності майбутньої системи. Формування функціональних вимог передбачає чітке визначення основних, що повинен вміти виконувати кіберфізичний комплекс — можливість автономного руху в середовищах різної складності. Згадана раніше функція потребує ефективного та швидкого датчика для зчитування розташування об'єктів у фізичному просторі, знаходження відстані до даного об'єкта. Також у завдання комплексу входить збір даних із навколишнього середовища, а саме колір поверхні об'єкта, що розташований перед роботом. Для реалізації функції збору даних кіберфізичний комплекс потребує інтеграції додаткових сенсорів — датчик кольору.

З технічної точки зору, комплекс повинен відповідати ряду вимог до самого апаратного забезпечення. Конструкція пристрою повинна бути досить компактною для переміщення у складних умовах навколишнього середовища та водночас бути достатньо міцною, щоб витримувати вібрації, що будуть передаватися від поверхні, та самі нерівності цієї ж поверхні. Для гарного рівня автономності потрібно врахувати і наявність акумуляторних блоків, які будуть забезпечувати довгу та безперебійну роботу системи, без необхідності частого підзаряджання. Контролер, який буде керувати усіма пристроями та датчиками повинен мати достатню кількість портів та роз'ємів для підключення таких. Також контролер повинен підтримувати різні протоколи обміну даними, наприклад, I2C, SPI, UART, мати можливість точно відтворювати ШИМ-сигнали для управління моторами та сервоприводами, а також мати достатній запас обчислювальної потужності для обробки великої кількості даних, яку, в теорії, він буде отримувати.

Експлуатаційні вимоги включають у себе зручність використання кіберфізичного комплексу, його надійності та простоти обслуговування. Конструкція робота повинна передбачати легкий доступ до важливих компонентів, з можливістю їх швидкої заміни або ремонту. Програмне забезпечення кіберфізичного комплексу повинно бути модульним, з можливістю додавання нових функцій, або ж швидкої зміни налаштувань системи.

Для можливості взаємодії із іншими пристроями та кінцевим користувачем, комплекс повинен відповідати системним вимогам до сумісності. Обмін даним повинен бути реалізований як і дротовим шляхом, так і бездротовим. Для передачі даних безпроводними технологіями необхідна наявність додаткових модулів, наприклад, Bluetooth, Wi-Fi або LoRa.

Таким чином формування вимог до розроблюваного комплексу є багатоаспектним процесом, при формуванні якого потрібно врахувати велику кількість факторів. Від якості опрацювання та дотримання цих вимог і буде залежати кінцевий результат виконаної роботи.

1.3 Огляд і вибір апаратних компонентів

Ретельний вибір апаратних компонентів є одним із основних етапів проектування кіберфізичної системи, оскільки саме через апаратне забезпечення відбувається взаємодія із навколишнім середовищем. У цьому контексті апаратна частина є не лише пристроєм для зчитування даних та керування елементами взаємодії із навколишнім середовищем, а повноцінною складовою, що визначає функціональні границі кінцевої системи, її продуктивність, автономність, стабільність та потенціал до впровадження нових технологій та підпристроїв. Перед проектуванням структури апаратного забезпечення потрібно провести аналіз існуючих компонентів на ринку, та підібрати компоненти які були б доречні для виконання поставлених та запланованих задач.

Апаратною платформою, що стала основою кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод, є мобільний робот Keyestudio Mini Caterpillar Tank (рисунок 1.8).

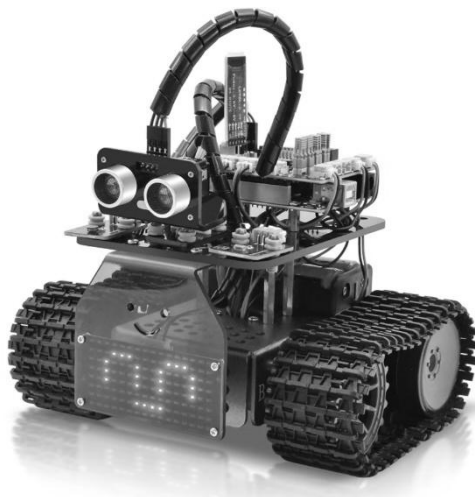


Рисунок 1.8 — Keyestudio Mini Caterpillar Tank

Цей робот має гусеничну базу, що забезпечує добру прохідність і курсову стійкість у русі, що є важливим для автономних систем. Завдяки компактным розмірам, енергоефективним моторчикам та модульній конструкції, дана платформа забезпечує не лише мобільність а й достатній рівень вантажопідйомності. Завдяки достатньому рівню вантажопідйомності є можливість встановити додаткові сенсори та датчики, без втрати у мобільності, стійкості та маневреності. Конструкція мобільного робота дозволяє зручно встановити різні електронні компоненти, такі як плати керування, акумулятори, модулі комунікації, сенсори та різні додаткові механізми для взаємодії із навколишнім середовищем.

Керування усією системою організоване за допомогою мікроконтролера, а саме Keyestudio v4.0, що є аналогом Arduino UNO (рисунок 1.9). Переваги плати Keyestudio v4.0 (Arduino UNO) полягає у її простоті, стабільності, великій спільноті користувачів, що дозволяє без усяк проблем знаходити потрібну інформацію чи шляхи вирішення проблем, якщо такі виникають. Також для Arduino написана

велика кількість бібліотек, що дозволяє без усяких проблем інтегрувати сенсори та не переживати, що не буде бібліотеки для роботи з ним.

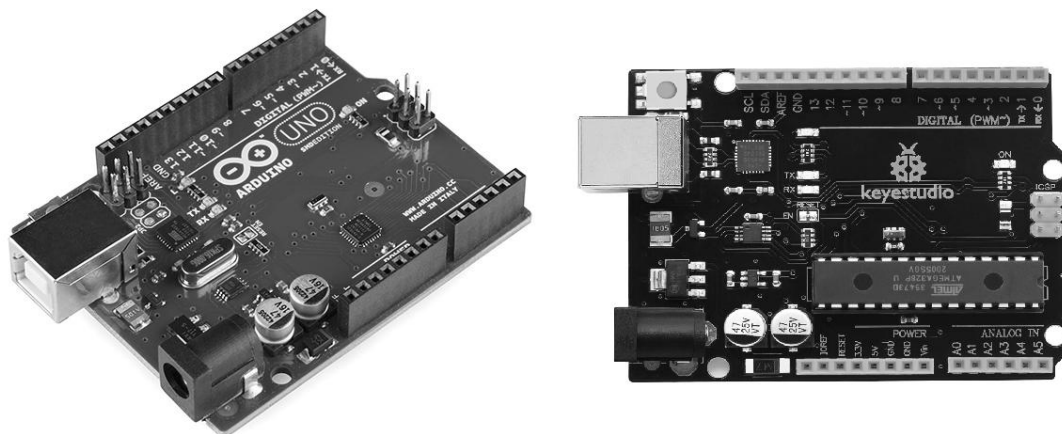


Рисунок 1.9 — Мікроконтролери Arduino UNO та Keyestudio v4.0

Завдяки відкритому програмному середовищу Arduino ідеально підходить для задач керування рухом, зчитування даних із сенсорів та реалізації логіки поведінки системи. Характеристики Keyestudio v4.0:

- мікроконтролер — ATmega328;
- робоча напруга — 5В;
- напруга живлення (рекомендована) — від 7В до 12В;
- напруга живлення (допустима) — від 6В до 20В;
- Цифрові входи/виходи — 14, з яких 6 можуть використовуватися в якості ШИМ виходів;
- Аналогові входи — 6;
- максимальний струм одного виводу — 40мА;
- максимальний вихідний струм виводу 50мА;
- Flash-пам'ять — 32КБ, з яких 0.5КБ використовуються завантажувачем;
- SRAM — 2КБ;
- EEPROM — 1КБ;
- тактова частота — 16МГц [6].

Особливу увагу в архітектурній частині кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод приділено сенсорам, що забезпечують збір даних про фізичне середовище та перешкоди на шляху. Ультразвукові сенсори що працюють за принципом ехолокації, дозволяють точно визначати відстань до об'єктів, що знаходяться перед роботом. На відміну від оптичних аналогів ультразвукові сенсори мають більшу точність стійкість до умов, а саме освітлення, що сильно вирізняє їх від оптичних сенсорів. В якості ультразвукового сенсора використовується HC-SR04 (рисунок 1.10). На платі датчика HC-SR04 розташовано чотири контакти — живлення, вхідний сигнал запуску, вихідний сигнал, та контакт землі. Також на платі розташовані два пристрої які працюють у синергії — один випромінює ультразвуковий імпульс, інший приймає відлуння після відбиття від об'єкта. Принцип роботи датчика досить простий. Мікроконтролер подає короткий імпульс на вивід Trig, після чого один з датчиків випромінює ультразвук частотою приблизно 40кГц. Відбита ультразвукова хвиля повертається до датчика. За допомогою виміру часу між випромінюванням хвилі і отриманням відбитої вимірюється відстань до об'єкта [7]. Крім сенсорів, важливою частиною проектування кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод є і вибір компонентів живлення, виконавчі механізми та модулі комунікації.



Рисунок 1.10 — Ультразвуковий датчик HC-SR04

Акумуляторні батареї підбираються в залежності від очікуваних вимог пристрою. Зазвичай використовуються літій-іонні акумулятори.

Мотор-редуктори забезпечують поступовий і керований рух, мають високий крутний момент і тривалий термін експлуатації. В якості мотор-редуктора на

кіберфізичному комплексі збору даних з можливістю обходу перешкод встановлено GA25Y210/45 (рисунок 1.11). GA25Y210/45 — це модель редукторного двигуна, що широко розповсюджений у робототехніці, постійного струму.



Рисунок 1.11 — мотор-редуктор GA25Y210/45

Основні характеристики мотор-редуктора:

- тип двигуна — двигун постійного струму з редуктором;
- живлення — 6В;
- діаметр корпусу — 25мм;
- довжина двигуна — приблизно 65мм (з редуктором);
- передаточне число — 1:45;
- швидкість обертання — приблизно 210 об/хв;
- крутний момент — від 2кг*см до 5кг*см;

Для покращення роботи алгоритмів обходу перешкод, потрібно реалізувати можливість повертання ультразвукового датчика навколо своєї осі. Для цього слід використати сервопривід. У рамках поставлених задач підійде сервопривід, що йде у комплекті разом із міні-танком Keyestudio Mini Caterpillar Tank. На рисунку 1.12 представлено вигляд сервопривода Keyestudio 9G 180 SERVO. Що стосується пристроїв комунікації, то на кіберфізичному комплексі збору даних з можливістю обходу перешкод встановлено Bluetooth-модуль DX-BT24 V5.1 (рисунок 1.13). DX-BT24 V5.1 — це компактний модуль, розроблений компанією DX-SMART Technology Co., Ltd., який підтримує стандарт Bluetooth Low Energy 5.1.



Рисунок 1.12 — Сервопривід Keyestudio 9G 180 SERVO

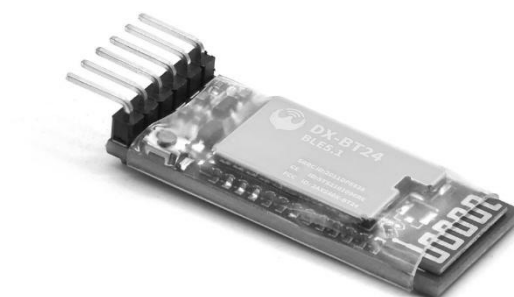


Рисунок 1.13 — Bluetooth-модуль DX-BT24 V5.1

Основні характеристики Bluetooth модуля:

- чіп — DAIALOG DA14531;
- Bluetooth — Bluetooth Low Energy 5.1;
- пам'ять — 256 КБ Flash;
- робоча частота — 2.4 ГГц ISM;
- дальність зв'язку — до 90 метрів на відкритому просторі;
- робоча напруга — 3.3-5В [8].

Саме завдяки правильному вибору платформи, контролера, сенсорів, модулів зв'язку, моторів та джерел живлення можливо побудувати надійний, ефективний та автономний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод, здатний виконувати широкий спектр завдань.

Також для реалізації кіберфізичного комплексу збору даних із можливістю обходу перешкод, потрібно реалізувати сам збір даних. Для цього можна використати різні сенсори, такі як сенсори температури, вологи, датчики диму тощо. Вибір сенсора для збору даних зупинився на датчику кольору TCS34725 (рисунок 1.14).

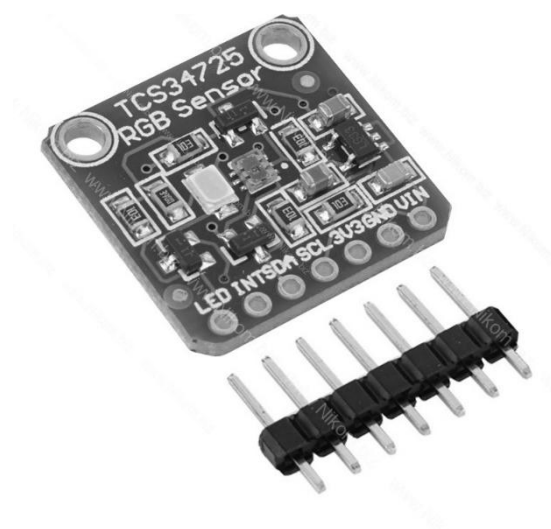


Рисунок 1.14 — Датчик кольору TCS34725

TCS34725 — це цифровий сенсор кольору з вбудованим джерелом білого світла, що дозволяє точно вимірювати RGB складові — інтенсивність червоного, зеленого та синього кольорів. Принцип роботи сенсора базується на сприйнятті відбитого світла від об'єктів і визначення інтенсивності кожного кольору RGB. Характеристика датчика кольору:

- напруга живлення — 3.3В — 5В;
- споживаний струм — 235мкА;
- час перетворення — 2.4мс — 700мс (з можливістю налаштування) [9].

Також потрібно встановити драйвер двигунів. Із поставленими задачами гарно впорається драйвер двигунів Keyestudio8833 (рисунок 1.15).

HR8833 — двоканальний драйвер двигунів постійного струму, який дозволяє Arduino або ж іншому мікроконтролеру керувати напрямком обертання та швидкістю обох моторів.

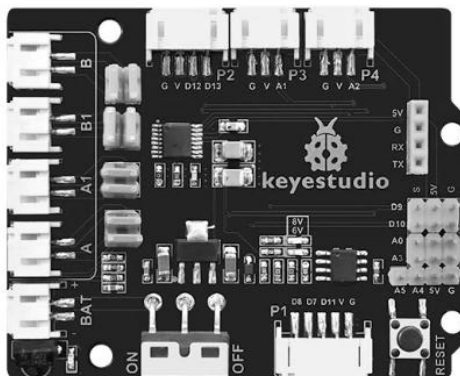


Рисунок 1.15 — Драйвер двигунів Keyestudio8833

2 КОНСТРУКЦІЯ ТА ЗБІРКА КІБЕРФІЗИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Опис конструкції міні-танка Keyestudio Mini Caterpillar Tank

2.1.1 Загальний опис конструкції шасі

Конструктивно, міні-танк являє собою компактну мобільну робототехнічну платформу, яка спеціально розроблена для використання в дослідницьких, навчальних та експериментальних цілях. Основна мета її створення полягає у формуванні та вдосконаленні практичних навичок у галузі робототехніки, мікроконтролерного програмування, сенсорних технологій, а також інтеграції елементів кіберфізичних систем. Платформа забезпечує зручну основу для проведення лабораторних і польових досліджень, випробування алгоритмів керування, систем уникнення перешкод, побудови карт місцевості та автоматизації задач мобільної навігації.

Головною особливістю міні-танка є поєднання простоти збирання та гнучкості в експлуатації з достатньо високим рівнем функціональності та адаптивності. Завдяки відкритій архітектурі та модульному принципу побудови система дозволяє легко змінювати конфігурацію, додавати нові сенсори, виконавчі пристрої або комунікаційні модулі відповідно до поставлених завдань. Така універсальність дозволяє використовувати платформу для реалізації широкого спектра задач — від базових пересувань у просторі до реалізації складних сценаріїв автономного функціонування в змінюваному середовищі.

Основу апаратної конструкції платформи становить гусеничне шасі (рисунок 2.1), яке забезпечує високу прохідність і стабільність на різних типах поверхні — від рівної підлоги до нерівного ґрунту. Гусеничний тип приводу дозволяє міні-танку долати дрібні перешкоди, плавно змінювати напрямок руху, виконувати розвороти на місці (завдяки диференційованому керуванню моторами) та залишатися стійким навіть при русі під нахилом.

Шасі складається з металевої опорної платформи, що слугує базою для встановлення інших компонентів. До неї прикріплені два мотор-редуктори постійного струму, які відповідають за привід гусеничних стрічок. Таке рішення

забезпечує надійність у русі, достатній крутний момент і контроль швидкості платформи. Додатково на шасі можуть бути встановлені кріплення для батареї, модулів керування, плати Arduino або сумісного мікроконтролера, а також сенсорів (ультразвукових, інфрачервоних, гіроскопічних тощо), що забезпечують зворотний зв'язок із навколишнім середовищем.

Завдяки компактності та міцності конструкції міні-танк демонструє добру механічну стійкість під час руху. Усі елементи конструкції взаємно узгоджені та зручно компонуються в єдиний функціональний пристрій, який може використовуватися як для автономного пересування, так і в режимі віддаленого керування через бездротові канали (Bluetooth, Wi-Fi, радіозв'язок).

Отже, конструкція міні-танка демонструє збалансовану комбінацію мобільності, керованості, розширюваності та простоти реалізації, що робить його надзвичайно зручним об'єктом для розробки і тестування алгоритмів кіберфізичних систем, вивчення принципів взаємодії апаратного та програмного забезпечення, а також формування системного підходу до проектування робототехнічних комплексів.



Рисунок 2.1 — Гусеничне шасі

легко, без втручання у конструкцію самого комплексу замінити двигуни на такі, у яких передаточне число більше, наприклад, 1:30. Крім того, платформа передбачає встановлення додаткових датчиків у шасі кінцевого пристрою, наприклад, датчики обертання для зворотнього зв'язку про швидкість руху, енкодери для інформації про загальний пройдений шлях системи.

2.1.3 Взаємодія компонентів конструкції

Верхня частина шасі має монтажні отвори, завдяки яким можливе швидке прикріплення плати Keyestudio v4.0 (рисунок 2.3).

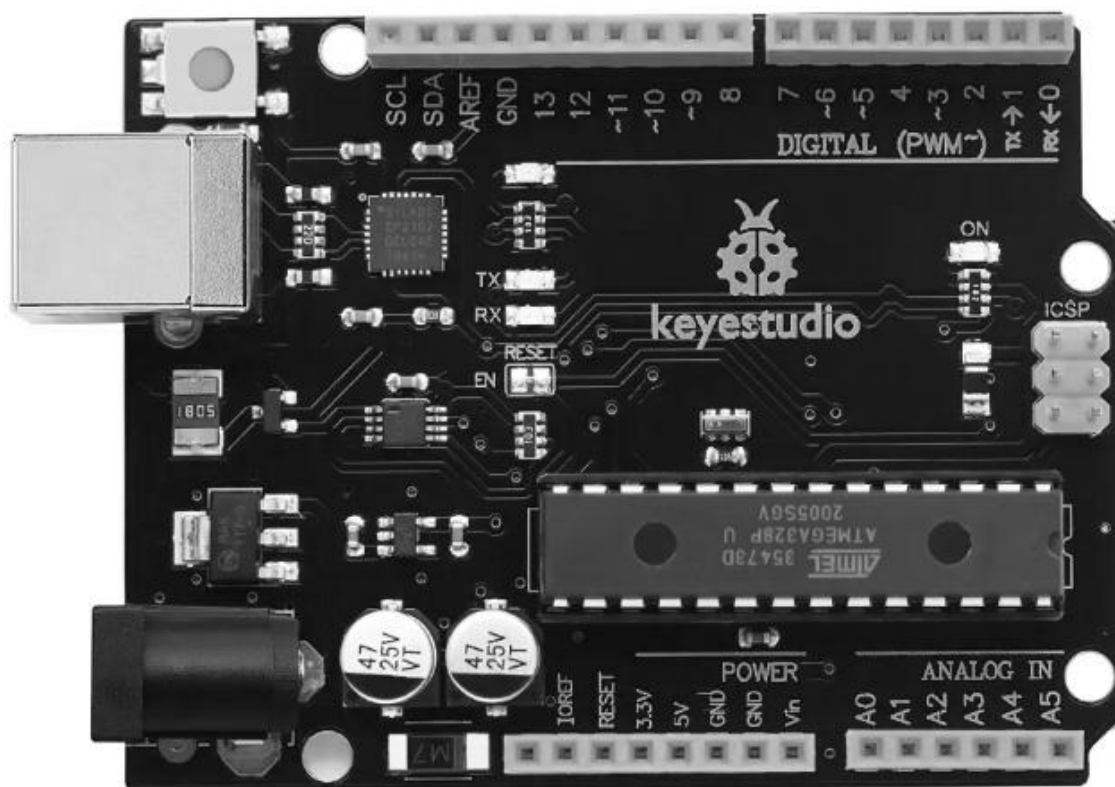


Рисунок 2.3 — Keyestudio v4.0

Також верхня частина дозволяє встановити низку інших датчиків та приладів, які можуть використовуватися у кіберфізичному комплексі, наприклад, ультразвукові датчики, фото-резистор, інфрачервоні датчики, різні модулі зв'язку тощо. З'єднання усіх компонентів реалізується через спеціальні та вже стандартні дроти для робототехніки — дроти з роз'ємами типу Dupont (рисунок 2.4).

З'єднувальні дроти Dupont — це універсальні з'єднувачі для створення тимчасових електричних схем без паяння [10].

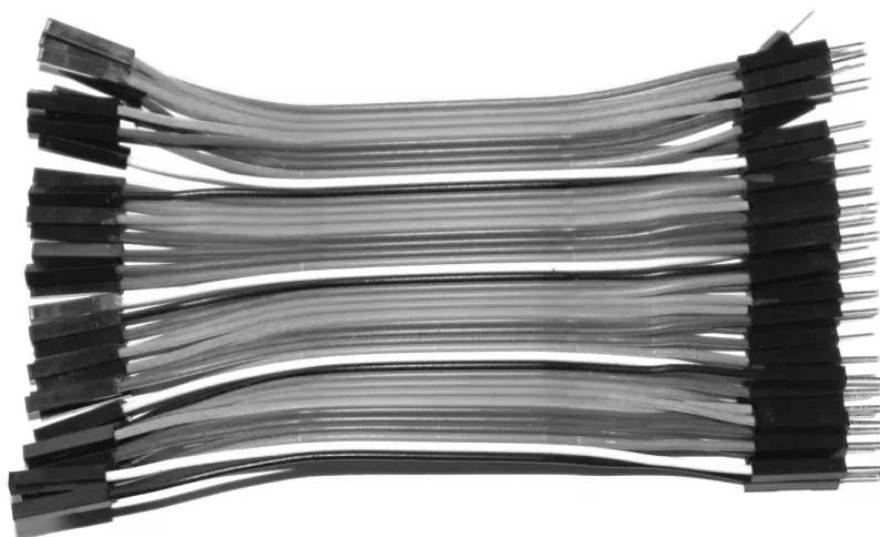


Рисунок 2.4 — Дроти з роз'ємами типу Dupont

Використання таких дротів дозволяє швидко конфігурувати схему, за необхідності змінювати її, а головне цей тип з'єднання не потребує пайки.

Деякі модулі для зв'язку з мікроконтролером використовують протокол I2C. Послідовна шина даних для зв'язку інтегральних схем, розроблена фірмою Philips на початку 1980-х як проста шина внутрішнього зв'язку для створення керуючої електроніки [11]. Для відправки та отримання даних у протоколі I2C використовуються всього два контакти:

- SDA — Serial Data Line, що використовується для передачі даних;
- SCL — Serial Clock Line, що використовується для отримання даних.

Характеристики протоколу I2C:

- тип — послідовний, синхронний;
- кількість ліній — дві;
- кількість можливих підключених пристроїв на одну шину I2C — до 127;

— швидкість — 100кбіт/с, 400кбіт/с або ж 1Мбіт/с.

Таким чином, конструкція міні-танка Keyestudio Caterpillar, що лежить у основі кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод, є гнучкою платформою, що передбачає встановлення та інтеграцію додаткових елементів до системи. Завдяки високій модульності, надійності та зручності модифікації, вона є гарним вибором для реалізації як і простих проектів так і досить складних кіберфізичних систем, що робить її ідеальним вибором для проектування систем із розділу робототехніки.

2.2 Інтеграція сенсорів та виконавчих механізмів

Інтеграція сенсорів та виконавчих механізмів у склад кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод на базі Keyestudio Caterpillar є ключовим етапом, що забезпечує можливість взаємодії із фізичним середовищем — отримання інформації та реакція на отриману інформацію. Інтеграція сенсорів передбачає не тільки їх підключення, а й реалізації їх логіки у програмному коді.

2.2.1 Підключення ультразвукових датчиків для виявлення перешкод та ідентифікації кольору

Одним із основних сенсорів комплексу з можливістю перешкод є ультразвуковий датчик, який і робить можливим процес знаходження об'єктів на шляху робота, та в подальшому їх обходу. В якості ультразвукового датчика використовується HC-SR04, у якого є чотири піна:

- Trigger;
- Echo;
- VCC;
- GND [12].

Піни підключаються до цифрових виходів мікроконтролера Keyestudio v4.0. Схема підключення датчика зображена на рисунку 2.5. Для досягнення максимальної продуктивності датчика потрібно дотримуватися вимог по його

встановленню — датчик повинен бути розташований на передній частині пристрою, паралельно поверхні та на достатній відстані від землі, для уникнення хибних спрацювань. У програмному коді реалізується спеціальна функція, яка вираховує затримку між надісланим звуковим імпульсом та відбитим. Після чого за спеціальною формулою обраховується відстань до об'єкта, з яким зіштовхнулася звукова хвиля.

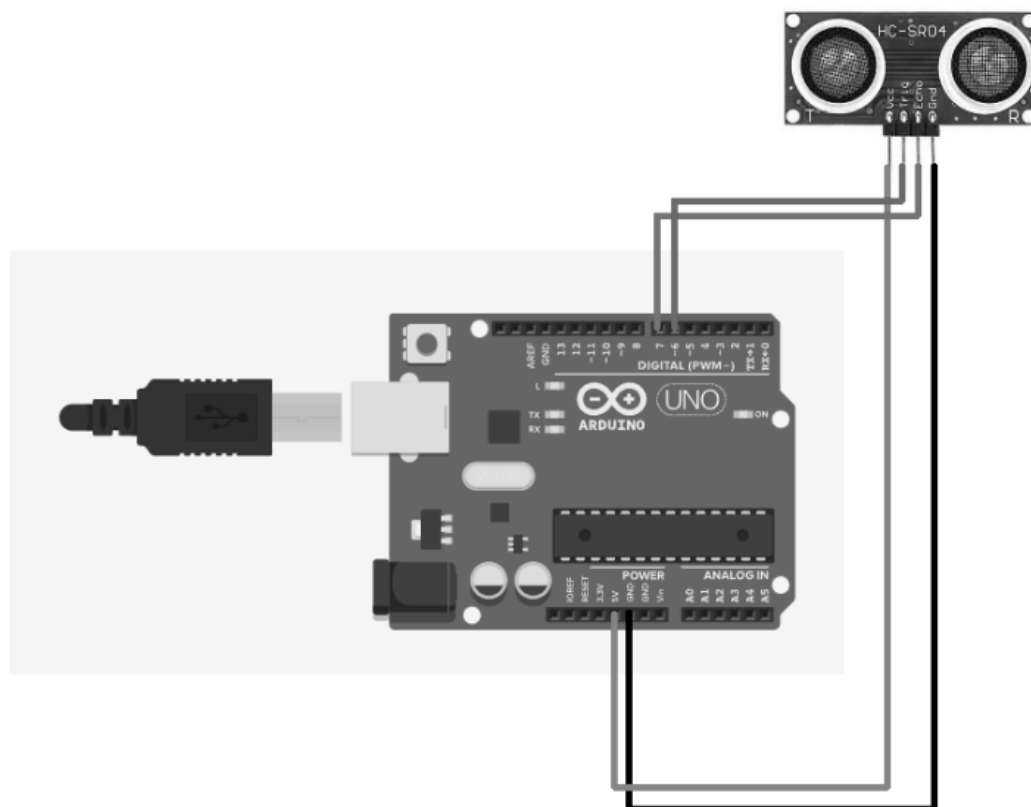


Рисунок 2.5 - Схема підключення датчика HC-SR04

Для підключення ультразвукового датчика відстані потрібно підключити всі чотири його контакта:

- живлення;
- земля;
- вхідний сигнал запуску;
- вихідний сигнал.

Другим основним сенсором є датчик кольору TCS34725. На відміну від ультразвукового датчика, датчик кольору працює через шину I2C. Для його

підключення використовуються два виходи SDA та SCL [13]. Де ці піни розташовані на платі Arduino Uno можна знайти у даташиті плати (рисунок 2.6). Конкретно для плати Arduino Uno — це аналогові піни A4 (SDA) та A5 (SCL) [14]. В залежності від моделі плати розташування пінів SDA та SCL може змінюватися (таблиця 2.1).

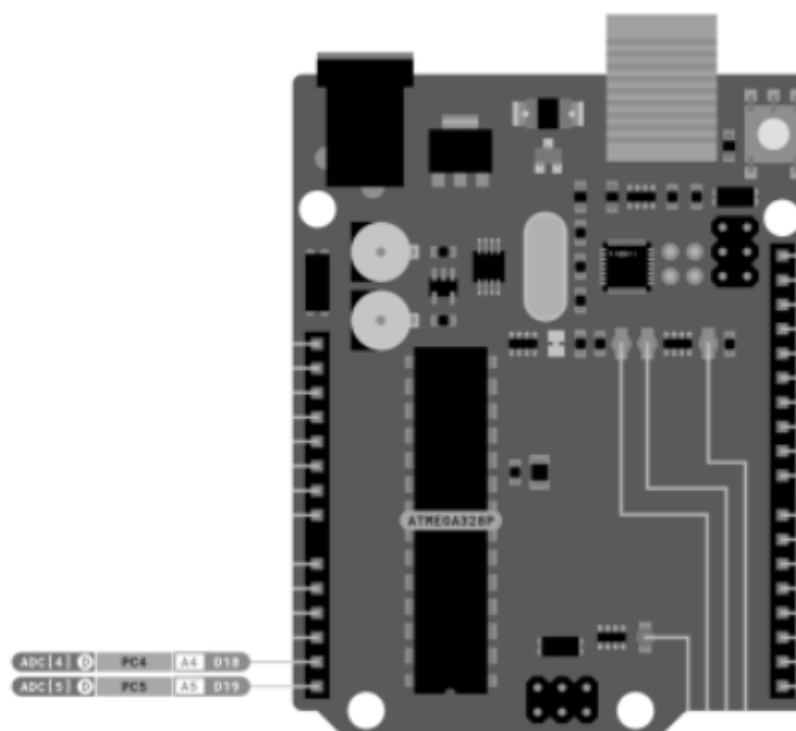


Рисунок 2.6 — Розташування пінів SDA та SCL на платі Arduino UNO

Таблиця 2.1 — Розташування пінів SDA та SCL на різних платах Arduino

Плата	SDA	SCL
Arduino Uno	A4	A5
Arduino Nano	A4	A5
Arduino MKR	D11	D12
Arduino GIGA	D20	D21
Arduinop MEGA & DUE	D20	D21

Схема підключення датчика кольору TCS34725 представлена на рисунку 2.7.

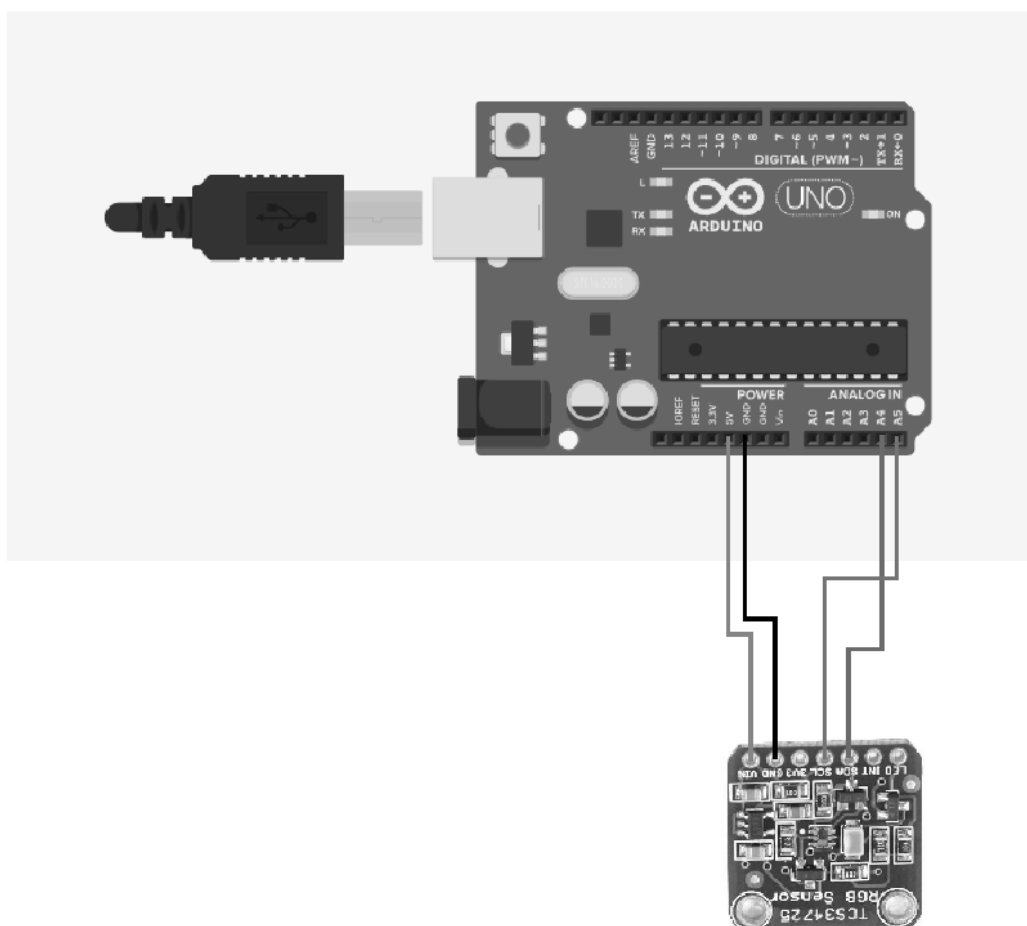


Рисунок 2.7 — Схема підключення датчика кольору TCS34725

Для коректного підключення та встановлення датчика потрібно дотримуватися рекомендацій, щодо його встановлення. Датчик повинен бути розташованим на передній частині пристрою, нічого не повинно перекривати його. Також сенсор кольору повинен бути встановлений на достатній відстані від землі, для уникнення хибних спрацювань.

Для функціонування датчика достатньо використати чотири його контакта:

- SDA;
- SCL;
- живлення;
- земля.

Також після аналізу усіх наявних входів та виходів датчика TCS34725 та відтворення схематичного рисунка схеми підключення його до плати Arduino UNO,

датчик було приєднано та протестовано на власноруч зробленому тестувальному стенді. За основу тестувального стенду була взята макетна плата (рисунок 2.8) та мікроконтролер Arduino Nano (рисунок 2.9), а для підключення усіх компонентів використовувалися дроти із роз'ємом Dupont.

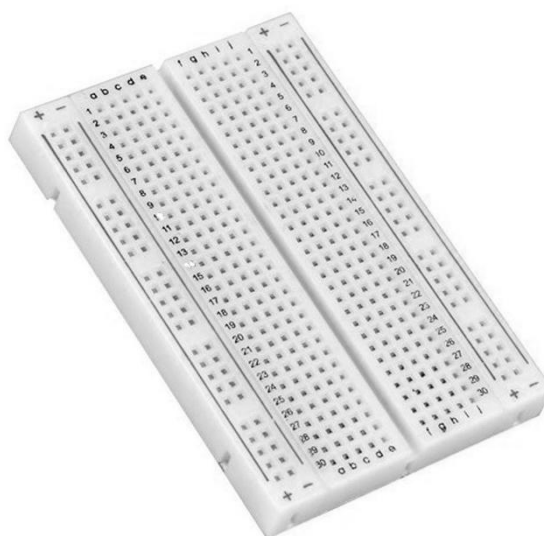


Рисунок 2.8 — Макетна плата

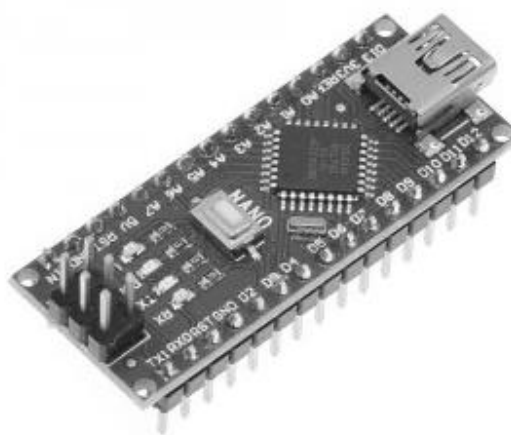


Рисунок 2.9 — Плата Arduino Nano

Після під'єднання датчика до тестового стенду та плати Arduino Nano, була завантажена прошивка, що описує всю логіку поведінки датчика та його реакції на зміну кольору.

2.2.2 Підключення сервопривода

У кіберфізичному комплексі збору даних з можливість встановлено сервопривід для можливості повороту ультразвукового датчика. Ця функція реалізована задля більш точного позиціонування об'єктів у просторі перед пристроєм, що в свою чергу дасть можливість більш точно обходити перешкоди та максимально оптимізувати маршрут руху робота. Схема його підключення зображена на рисунку 2.10. Для підключення сервоприводу достатньо усього трьох дротів. У сервопривода є всього три контакти, які потрібно підключити до плати Arduino:

- сигнальний;
- живлення;
- земля [15].

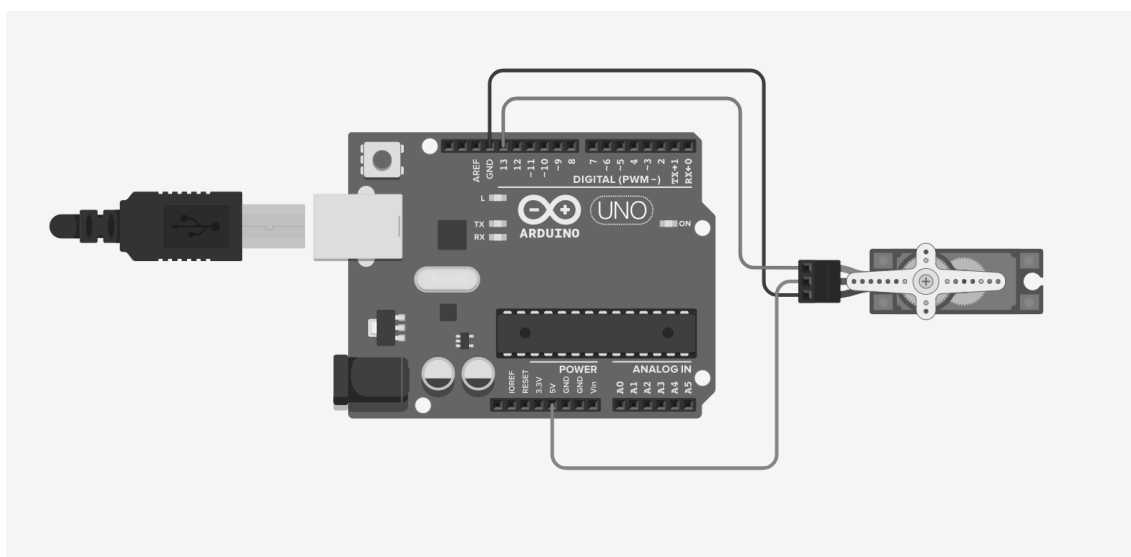


Рисунок 2.10 — Схема підключення сервопривода Keyestudio 9G 180 SERVO

2.2.3 Робота з моторами та драйверами моторів

Для підключення моторів та забезпечення їх коректної функціональності слід використати драйвер двигунів HR8833. Логіка його підключення дещо складніша, ніж усіх попередніх датчиків. На платі знаходиться досить багато контактів, а саме:

- VCC — контакт, що приєднується до плати Arduino, для живлення логіки;
- GND — спільна земля, що приєднується до плати Arduino;
- IB1 — контакт, для задання швидкості обертання першого мотору через подання на нього ШИМ-сигналу;
- IB2 — логічний контакт, що керує напрямком обертання першого мотору;
- IA1 — контакт, для задання швидкості обертання другого мотору через подання на нього ШИМ-сигналу;
- IA2 — логічний контакт, що керує напрямком обертання другого мотору;
- MA1 — живлення першого двигуна;
- MA2 — земля для першого двигуна;
- MB2 — живлення другого двигуна;
- MB1 — земля для другого двигуна;
- GND — контакт, до якого приєднується мінусова клема;
- VM — контакт, до якого приєднується плюсова клема [16].

Завдяки комбінаціям значень на виходах IB1, IB2, IA1, IA2 і програмується логіка обертання моторів — їх швидкість на напрямок (таблиця 2.2) . Слід додати що контакти IB1 та IA1 слід підключати до цифрових виходів, що можуть відтворювати ШИМ-сигнал. У даташиті такі виходи позначаються хвилястою лінією (рисунок 2.11).

Таблиця 2.2 — Логіка обертання одного з двигунів [17]

IA1	IA2	Напрямок руху та швидкість
ШИМ-сигнал	0	Рух вперед, швидкість задається ШИМ-сигналом
ШИМ-сигнал	1	Рух назад, швидкість задається ШИМ-сигналом

Слід додати, що ШИМ-сигнал може бути у межах від 0 до 255, де 0 — двигуни не обертаються, а 255 — двигуни обертаються на повній швидкості [18].

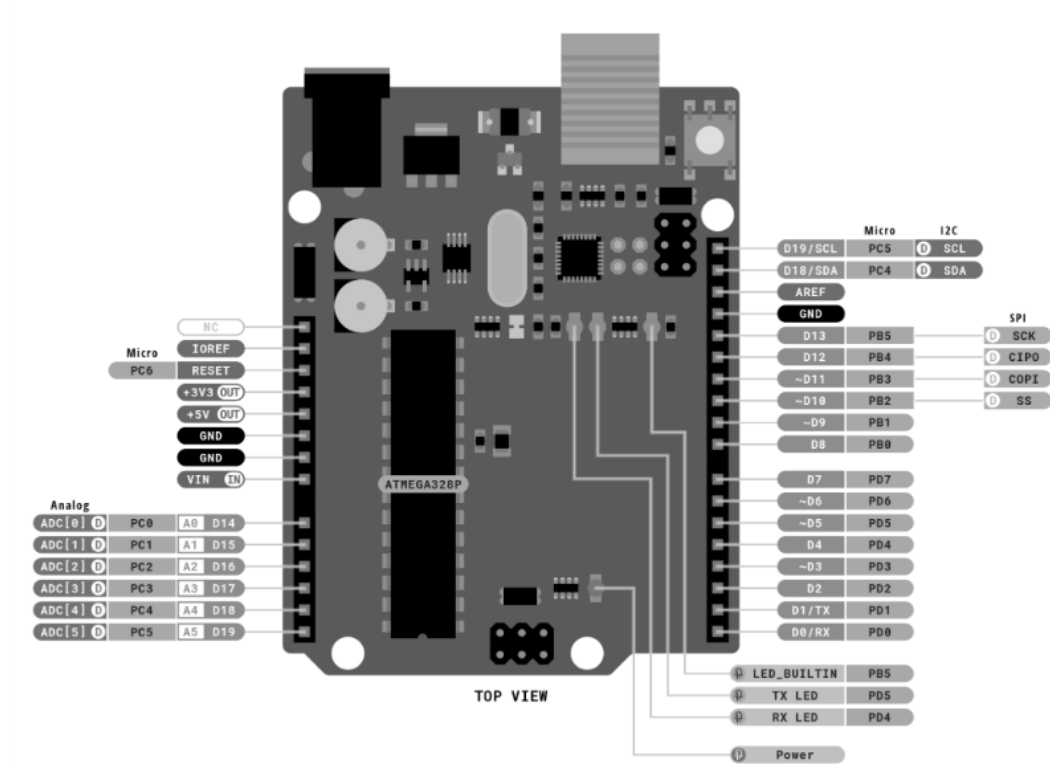


Рисунок 2.11 — Розташування ШІМ-пінів на платі Arduino Uno

Схематичне зображення під'єднаних двигунів, драйвера двигунів та акумуляторних батарей представлено на рисунку 2.12.

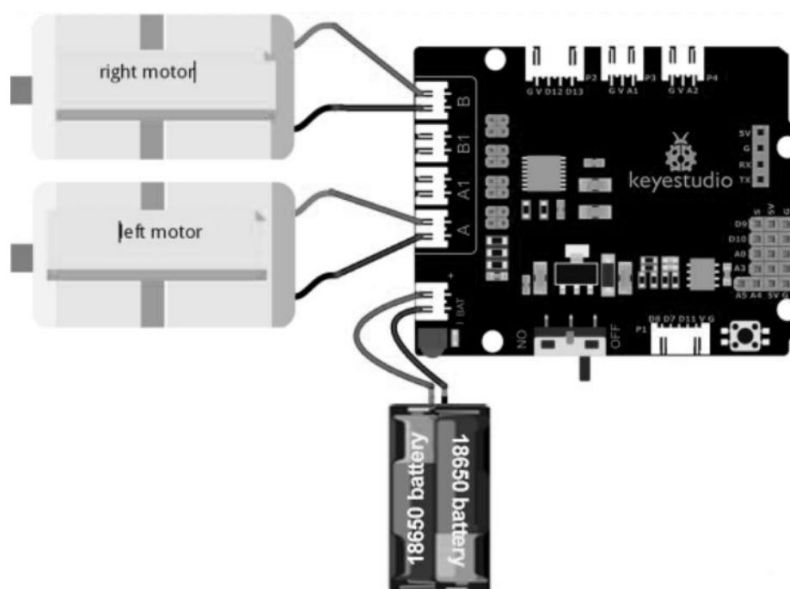


Рисунок 2.12 — Схематичне зображення під'єднаних двигунів, драйвера двигунів та акумуляторних батарей

2.3 Тестування апаратної частини

2.3.1 Первинне тестування окремих елементів

Після завершення етапу фізичної збірки кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод, побудованого на базі мобільного робота міні-танка Keyestudio Mini Caterpillar, одним із найважливіших етапів є проведення детального тестування усієї апаратної частини та, за необхідності, окремих її компонентів. Саме завдяки тестуванню проводиться виявлення несправностей з подальшим їх усуненням. Тестування починається із первинної перевірки окремих компонентів кіберфізичного комплексу. На цьому етапі перевіряється чи правильно відображається поведінка комплексу на відповідь окремих компонентів.

Для початку можна перевірити працездатність мікроконтролера Arduino. Контролер перевіряється на предмет успішного з'єднання із комп'ютером, завантаження базових скетчів, наприклад, Blink. Blink це базовий скетч майже для усіх плат Arduino. Після успішного його завантаження, світлодіод, що розташований на самій платі почне запалюватися та тухнути із заданою затримкою, що буде відображатися к блимання світлодіода. Далі слід перевірити чи під'єднані усі сенсори до плати і чи «бачить» їх вона. Для цього, зазвичай, у коді прописують функцію, яка буде виводити у монітор порта стан датчика — датчик знайдено або датчик відсутній. Усі ці перевірки відбуваються окремо за допомогою тестових скетчів або ж вбудованих функцій середовища розробки Arduino IDE.

2.3.2 Діагностика роботи двигунів та сенсорів

Для тестування моторів постійного струму GA25Y210/45 у зв'язці із драйвером HR8833 виконується послідовна подача сигналів керування, яка включає обертання вала у прямому та зворотному напрямках, а також регулювання швидкості валів. У процесі тестування також перевіряється драйвер двигунів на перегрівання або ж перебої у його роботі при зміні навантаження.

Після успішного тестування двигунів та драйвера, виявлення їх технічних проблем та усунення, якщо такі було знайдено, можна почати тестувати сенсори та датчики.

Тестування датчика кольору TCS34725 є важливим етапом у процесі відлагодження кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод. Перед початком тестування роботи датчика потрібно перевірити чи правильно він підключений. До Arduino під'єднуються чотири основні контакти:

- VCC під'єднується до живлення 5В;
- GND під'єднується до землі плати;
- SDA під'єднується до аналогового контакту A4;
- SCL під'єднується до аналогового контакту A5;

Після підключення усіх контактів слід перевірити чи бачить плата сам датчик. Для цього у функції, що запускається один раз при завантаженні потрібно прописати умову - якщо датчик відповідає, то у монітор порта виводиться наступне повідомлення «TCS34725 знайдено». Вивід повідомлення у монітор порта при знаходженні датчика представлено на рисунку 2.13. Наступним кроком тестування є тестування логіки датчика, що прописана у мікроконтролер. У разі правильного функціонування сенсора та правильно описаному коду його роботи, повинно відбуватися чітке визначення кольорів. Тестування датчика на трьох кольорах, а саме червоному, зеленому та голубому продемонстровано на рисунках 2.14, 2.15 та 2.16 відповідно.

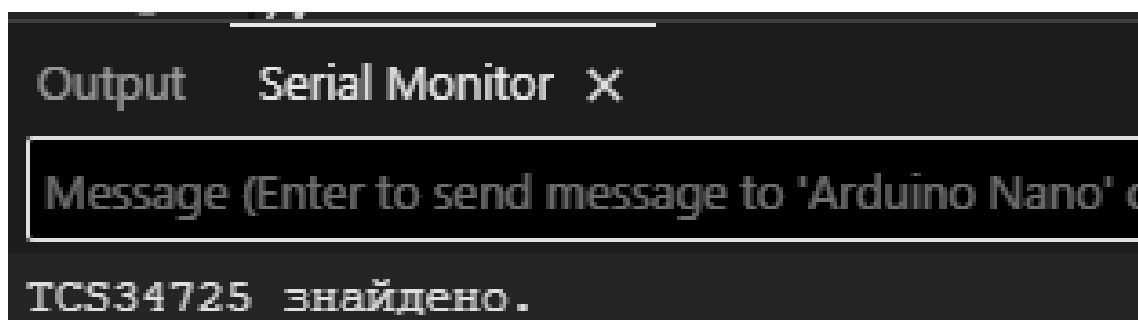


Рисунок 2.13 — Повідомлення, що свідчить про те, що плата бачить датчик



Рисунок 2.14 — Реакція датчика та логіки на червоний колір



Рисунок 2.15 - Реакція датчика та логіки на зелений колір



Рисунок 2.16 - Реакція датчика та логіки на голубий колір

2.3.3 Виявлення можливих апаратних проблем

Після тестування окремих компонентів слід приділити увагу виявленню можливих апаратних проблем, що можуть виникнути під час експлуатації кіберфізичного комплексу. Найпоширеніші проблеми:

- нестабільне або ж недостатнє живлення;
- поганий контакт, або ж його відсутність в роз'ємах та з'єднаннях;
- електромагнітні перешкоди, наприклад, від двигунів, що можуть заважати дієздатності інших сенсорів.

Для виявлення та усунення проблем із живленням, а також для перевірки якості з'єднання компонентів, доцільно використати мультиметр (рисунок 2.17).



Рисунок 2.17 — Мультиметр

Також для програмного тестування використовується монітор порта — вбудований функціонал Arduino IDE. Монітор порта є важливим інструментом для створення проєктів за допомогою Arduino. Його можна використовувати як засіб налагодження, тестування або для прямого зв'язку з платою Arduino [19]. За допомогою монітору серійного порту можна у реальному часі відстежувати відгуки від кожного із під'єднаних до плати Arduino датчиків та пристроїв, а також відслідковувати проміжні етапи обчислень, що використовуються для реалізації логіки пристрою.

Таким чином тестування апаратної частини є важливим і невід’ємним етапом у інженерії кіберфізичного комплексу. Воно забезпечує своєчасне виявлення можливих проблем та їх усунення етапі збірки пристрою. Від якості та глибини проведеного тестування залежить і надійність пристрою у виконанні поставлених задач.

3 ЕЛЕКТРОНІКА ТА КОМУНІКАЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ

3.1 Загальні схеми підключення компонентів робота

Побудова електричних схем для кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод є важливим етапом, адже саме за допомогою схем буде можливе подальше відтворення копій цього комплексу. Електричні схеми показують як саме будуть підключатися ті чи інші компоненти усієї системи. У центрі схеми зазвичай розташовується ключова деталь усієї конструкції — мікроконтролерна плата, мізки усього комплексу.

Усі компоненти комплексу підключаються не на пряму до мікроконтролерної плати, а через спеціальні перехідник, який також є драйвером двигунів (рисунок 3.1). Підключення драйвера до мікроконтролерної плати продемонстровано на рисунку 3.2.

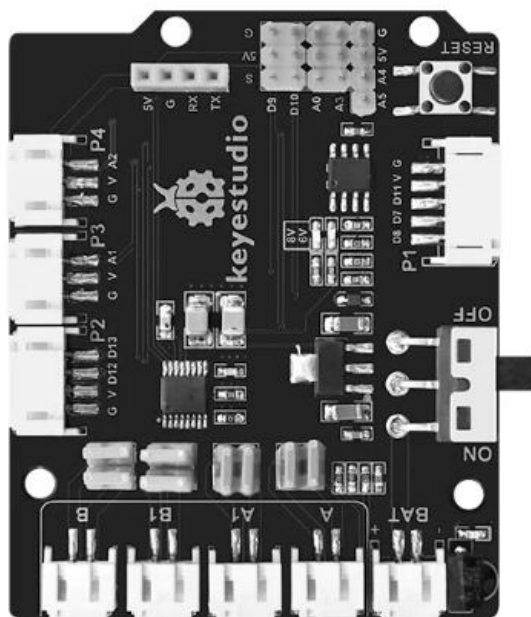


Рисунок 3.1 — Драйвер двигунів та перехідна плата для під'єднання усіх компонентів

Під'єднання лед-матриці до кіберфізичного комплексу. Лед матриця виступає у ролі пристрою виведення. На неї можна вивести як і простенькі картинки, так і якісь результати проведених замірів. Для її підключення використовуються 4

контакти [20]. Схема підключення та таблиця розподілу контактів зображені на рисунку 3.3 та у таблиці 3.1 відповідно.

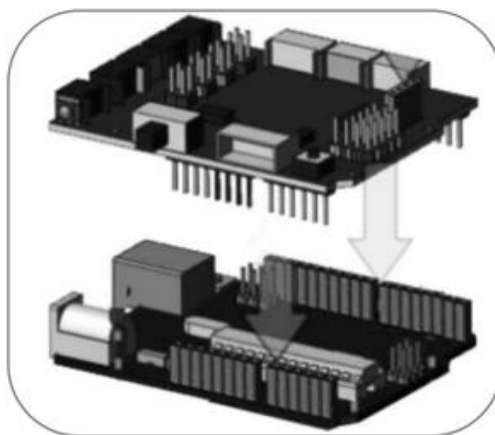


Рисунок 3.2 — Схематичне зображення під'єднання перехідної плати до основної плати

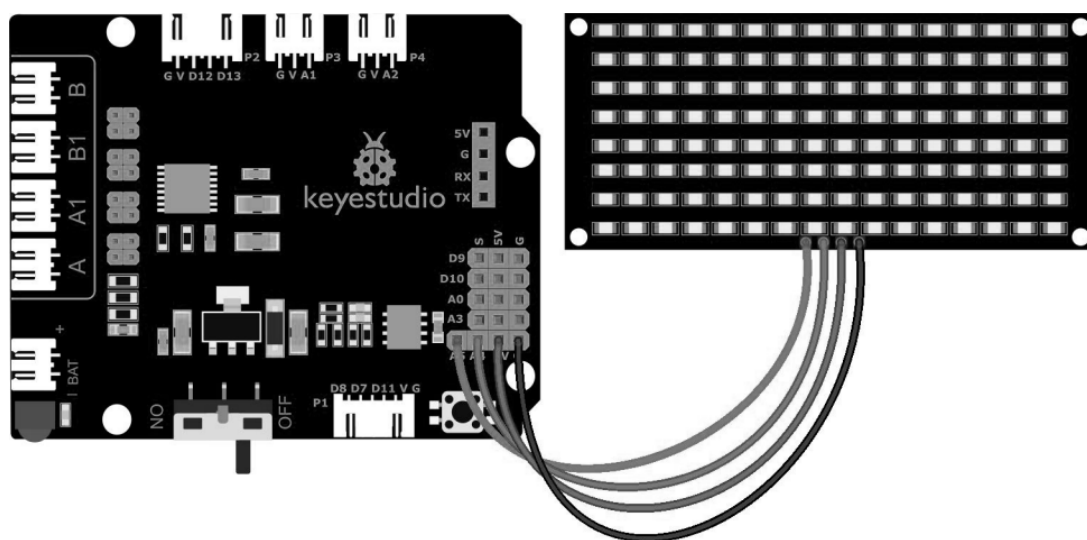


Рисунок 3.3 — Схематичне зображення схеми підключення лед панелі

Під'єднання ультразвукового датчика до перехідної плати. Ультразвуковий датчик виступає у ролі очей комплексу, саме завдяки ньому можливі такі функції як вільне переміщення у просторі та обхід перешкод. Схематичне зображення під'єднання ультразвукового датчика HC-SR04 та таблиця під'єднання контактів зображені на рисунку 3.4 та у таблиці 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 — Розподіл контактів при підключенні лед панелі

Контакти матриці	Контакти перехідної плати
GND	G
VCC	5V
SDA	A4
SCL	A5

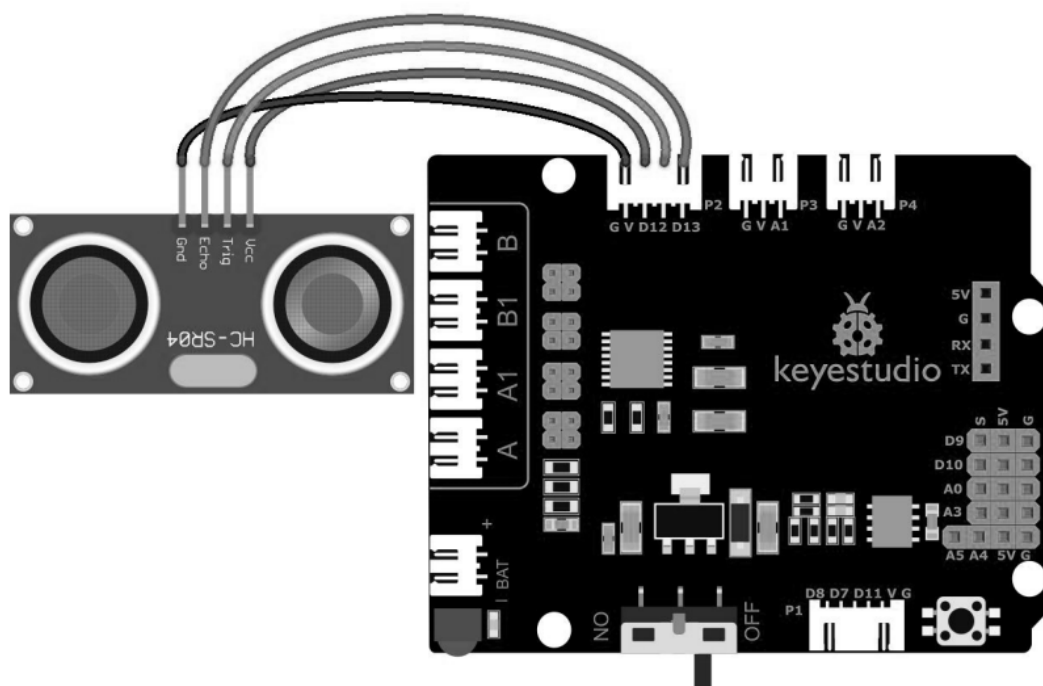


Рисунок 3.4 — Схематичне зображення схеми підключення ультразвукового датчика HC-SR04

Таблиця 3.2 — Розподіл контактів при підключенні ультразвукового датчика HC-SR04

Контакти HC-SR04	Контакти перехідної плати
VCC	V
TRIG	D12
ECHO	D13
GND	G

Під'єднання сервопривода до кіберфізичного комплексу. Серво привод вситкпає у ролі шії кіберфізичного комплексу — дає змогу повертатися ультразвуковому датчика. що в свою чергу покращує ідентифікацію навколишніх об'єктів. Схематичне зображення під'єднання сервопривода та таблиця під'єднання контактів зображені на рисунку 3.5 та у таблиці 3.3 відповідно.

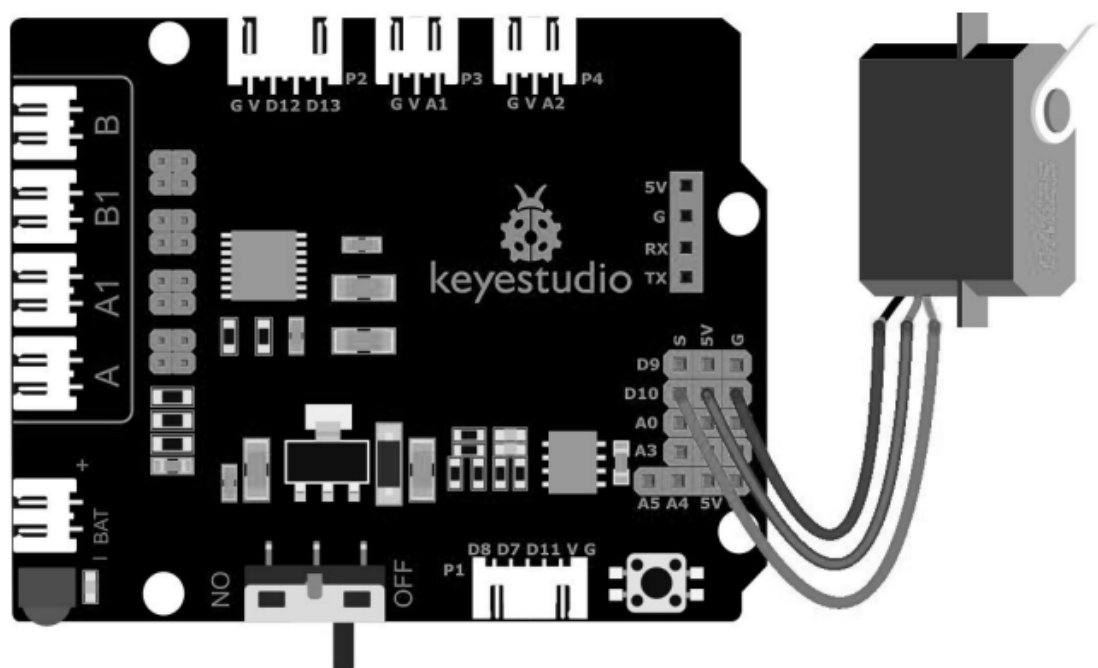


Рисунок 3.5 - Схематичне зображення схеми підключення сервопривода

Таблиця 3.3 — Розподіл контактів при підключенні сервопривода

Сервопривід	Перехідна плата
GND (коричневий провід)	G
VCC (червоний провід)	V
Signal (помаранчевий провід)	D10

Підключення Bluetooth модуля до кіберфізичного комплексу. Bluetooth модуль DX-BT24 V5.1 служить для з'єднання комплексу із смартфоном або ж комп'ютером та подальшої їх комунікації. Схематичне зображення під'єднання Bluetooth модуль DX-BT24 V5.1 та таблиця під'єднання контактів зображені на рисунку 3.6 та у таблиці 3.4 відповідно.

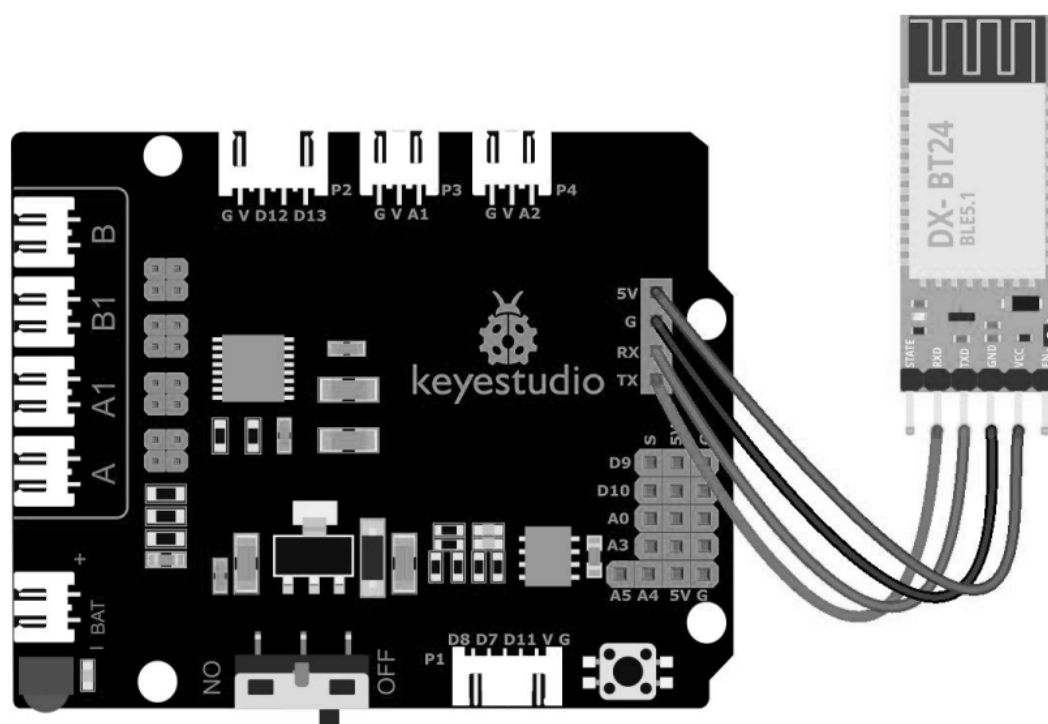


Рисунок 3.6 — Схематичне зображення схеми підключення Bluetooth модуля DX-BT24 V5.1

Таблиця 3.4 — Розподіл контактів при підключенні Bluetooth модуля DX-BT24 V5.1

Bluetooth модуль DX-BT24 V5.1	Перехідна плата
RXD	TX
TXD	RX
GND	G
VCC	5V

Підключення датчика кольору TCS34725. Датчик кольору TCS34725 є основним пристроєм збору даних у кіберфізичному комплексі. Схематичне зображення під'єднання датчика кольору TCS34725 та таблиця під'єднання контактів зображені на рисунку 3.7 та у таблиці 3.5 відповідно.

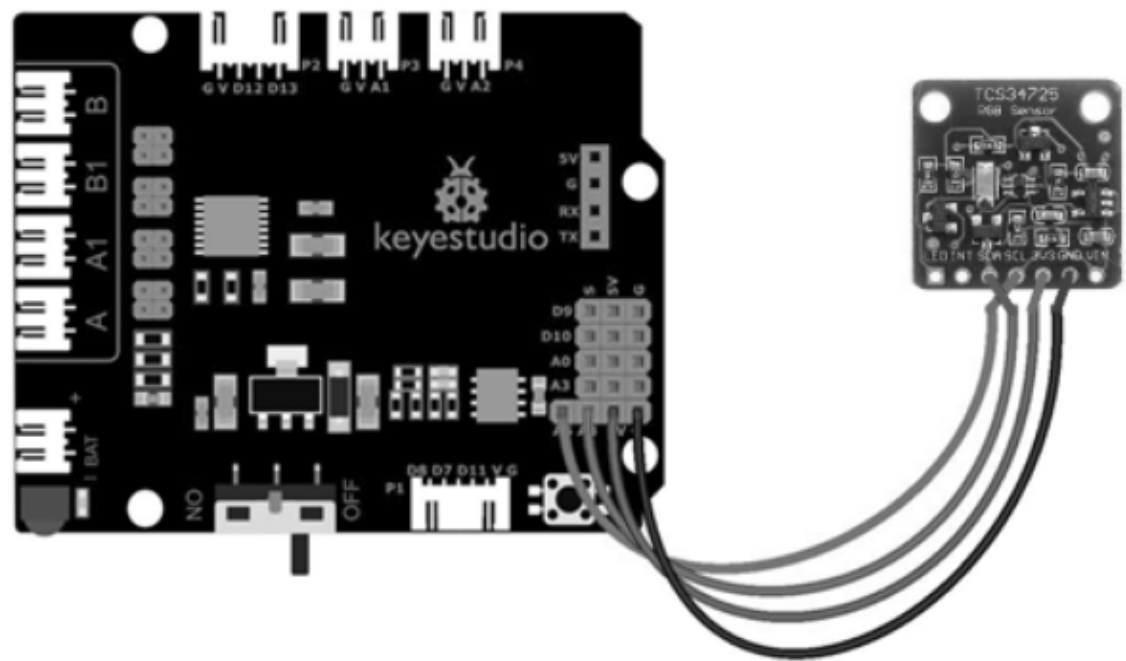


Рисунок 3.7 — Схематичне зображення схеми підключення датчика кольору TCS34725

Таблиця 3.5 — Розподіл контактів при підключенні датчика кольору TCS34725

Датчик кольору TCS34725	Перехідна плата
GND	G
VCC	5V
SDA	A4
SCL	A5

3.2 Способи обміну даними між компонентами

У кіберфізичних системах, до яких і належить комплекс збору даних із можливістю обходу перешкод, обмін даними між окремим модулями є критично важливим для функціонування самого комплексу. Саме канали комунікації дозволяють сенсорам передавати і отримувати інформацію. Для досягнення максимальної ефективності взаємодії між компонентами використовуються як і дротові технології комунікації, так і бездротові.

Серед базових протоколів дротового обміну даними є протоколи:

- I2C;
- SPI;
- UART.

Протокол I2C (Inter-Integrated Circuit) є одним із найбільш універсальних та розповсюджених протоколів дротового зв'язку. На одні шині даних протоколу може бути розташована велика кількість сенсорів та датчиків, що робить його придатним до використання у великих комплексах, без потреби встановлювати додаткові контакти для підключення датчиків та сенсорів. Для дієздатності протоколу потрібно лише дві лінії передачі даних — SDA та SCL, що дозволяє суттєво зменшити кількість необхідних для підключення дротів.

Іншим важливим та популярним протоколом передачі даних є SPI (Serial Peripheral Interface). SPI — фактичний послідовний синхронний повнодуплексний стандарт передачі даних, розроблений фірмою Motorola [21]. Він характеризується більшою швидкістю в порівнянні із I2C. Тому його доцільніше використовувати із дисплеями, модулями для зчитування та запису на флеш-пам'ять або модулями радіо-зв'язку, наприклад, LoRa. На відміну від I2C, для дієздатності датчиків, що підключені по протоколу SPI, кожен новий пристрій повинен мати окрему лінію зв'язку, що робить його менш зручним у використанні в великих системах.

UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) — тип асинхронного приймача-передавача, компонентів комп'ютерів та периферійних пристроїв, що передає дані між паралельною та послідовною формами [22]. UART використовується для підключення більшості існуючих модулів та датчиків. Для обміну даними йому потрібно всього два дроти — один для каналу RX, інший для TX.

3.3 Живлення та енергоспоживання системи

Живлення є важливим аспектом побудови надійного та автономного кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод. Якість

вибору джерела живлення, ефективність розподілу електроенергії між компонентами напряму впливають на тривалість автономної роботи на надійність самого комплексу.

У якості джерела живлення для даної системи використовуються літій-іонні акумулятори, що здатні забезпечити достатній струм та ємність, для стабільної роботи двигунів та інших компонентів системи. Найкращим рішенням для даної системи — використанні літій-іонних акумуляторів з маркуванням 18650 з такими характеристиками:

- напруга — 3.7В;
- ємність — 2200мАг [23].

Для забезпечення безперебійної роботи усього кіберфізичного комплексу, включаючи обчислювальні компоненти, виконавчі механізми та сенсорні модулі, надзвичайно важливим є правильний вибір джерела живлення, а також ретельне проектування електроживильної системи. У даному випадку підключення живлення до всієї системи здійснюється через перехідну плату-драйвер двигунів HR8833, яка відіграє роль не лише виконавчого елементу керування моторами, а й електричного вузла розподілу живлення між основними модулями комплексу. На схемі (рисунок 3.8) зображено підключення джерела живлення безпосередньо до цієї плати, що дозволяє спростити конструкцію та мінімізувати кількість з'єднань, зменшуючи таким чином потенційні втрати енергії та джерела збоїв.

Для того щоб визначити необхідні параметри акумулятора, а також оцінити загальний час автономної роботи комплексу, необхідно провести аналіз енергоспоживання в різних режимах роботи. У режимі простою або очікування, коли пристрій не рухається та не здійснює активне сканування середовища, переважна більшість споживачів енергії перебувають у неактивному стані. У цьому режимі активним залишається, в основному, контролер (наприклад, плата на базі Arduino Uno або ESP32), який підтримує базову життєздатність системи, очікуючи на зовнішній тригер або команду для початку дій. Типове енергоспоживання контролера в такому стані становить від 30 мАг до 50 мАг, залежно від моделі

мікроконтролера та напруги живлення. Виходячи з цього, при використанні стандартного літій-іонного акумулятора ємністю 4000 мАг, можна очікувати, що комплекс у режимі очікування зможе функціонувати понад 80 годин без підзарядки, що свідчить про високу енергоефективність при збереженні працездатності базових функцій.

Натомість у режимі активного руху та збору даних ситуація істотно змінюється. При включенні двигунів на повну потужність споживання різко зростає. Наприклад, двигуни типу GA25Y210/45 у парі з драйвером HR8833 здатні споживати струм до 500 мАг кожен, залежно від навантаження та швидкості обертання. У разі паралельної роботи обох двигунів, додаткового живлення сенсорних модулів (ультразвукові датчики, IMU, кольорові сенсори, енкодери тощо), а також самої обчислювальної платформи, загальне енергоспоживання комплексу може досягати або перевищувати 800—1000 мАг. За таких умов повний заряд того ж акумулятора (4000 мАг) дозволить працювати системі не більше 4—6 годин без підзарядки, залежно від сценарію роботи, швидкості руху та частоти опитування датчиків.

Таким чином, грамотне проєктування системи живлення є критично важливим етапом у створенні автономного кіберфізичного комплексу. Воно включає в себе як технічний вибір відповідного джерела живлення (акумулятора), здатного забезпечити необхідну напругу та струм, так і оцінку та моделювання енергоспоживання всіх компонентів у різних режимах: очікування, часткового навантаження та повного навантаження. На основі цих даних стає можливим оптимізувати архітектуру живлення, наприклад, впровадити автоматичне перемикання в енергозберігаючий режим, застосувати схеми зниження напруги, використовувати модулі контролю живлення або системи з двома джерелами живлення (наприклад, основним акумулятором та резервною батареєю).

Крім того, доцільно враховувати такі фактори, як ефективність перетворення напруги в стабілізаторах, якість проводки, наявність захисту від перенавантаження, короткого замикання та перевищення температури. Правильний підхід до

енергетичної архітектури дозволяє не лише досягнути стабільної роботи комплексу, але й забезпечити тривалу автономність, безпечну експлуатацію та можливість масштабування системи у майбутньому, якщо виникне потреба у додаткових модулях чи функціоналі.

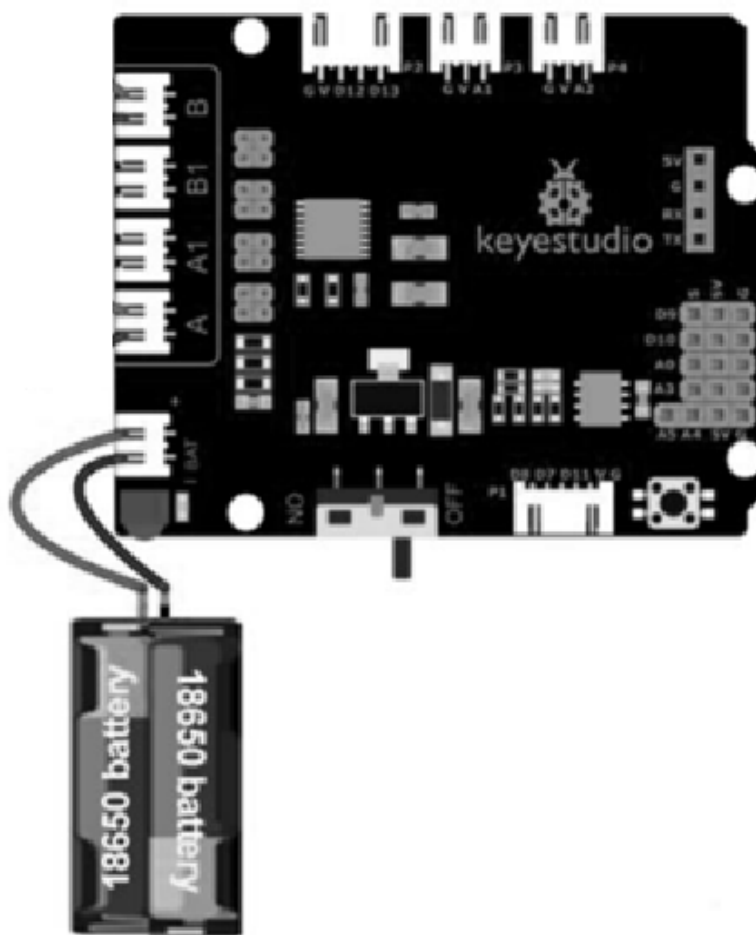


Рисунок 3.8 — Схема підключення живлення усього комплексу

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод» було здійснено повний цикл розробки системи, що включає у себе механічні, електронні та програмні аспекти реалізації у єдину платформу. У рамках роботи було створено мобільний, автономний роботизований пристрій на базі міні-танка Keyestudio Caterpillar, оснащений сенсорами для моніторингу та збору даних про навколишнє середовище та інфраструктурою для обробки даних у реальному часі.

Сконструйовано механічну частину комплексу, яка здатна до саморстійного переміщення по складним типам поверхні. Реалізовано електронну систему, що включає у себе ультразвукові датчики для знаходження перешкод, драйвер двигунів, контролер на базі Arduino UNO та датчик кольору. Усі складові було об'єднано у єдину, цілісну систему.

Комплексна реалізація проєкту довела ефективність підходу до побудови мобільного кіберфізичного комплексу, здатного до автономного переміщення та збору даних із навколишнього середовища. Такий підхід має великі перспективи застосування у системах моніторингу, дослідницьких платформах та навчальних робототехнічних рішеннях. У результаті виконаної роботи було продемонстровано можливість інтеграції апаратних та програмних компонентів у функціональний кіберфізичний комплекс, що відповідає сучасним тенденціям розвитку робототехніки.

Проєкт має потенціал для подальшого вдосконалення, а саме розширенню його функціоналу за рахунок встановлення додаткових сенсорів та реалізації логіки як роботи, впровадження додаткових бездротових технологій або ж реалізації більш інтелектуальних алгоритмів переміщення та віддаленого керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод // Богомолів С. В., Заїченко І. Г., Данилюк І. В. Матеріали LIV Всеукраїнської науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (Вінниця, 2025) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2025/paper/download/24075/19939>
2. Кіберфізична система: вебсайт. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Кіберфізична система](https://uk.wikipedia.org/wiki/Кіберфізична_система) (дата звернення)
3. Як працюють кіберфізичні системи та навіщо вони потрібні? : вебсайт. URL: <https://robotdreams.cc/uk/blog/649-how-do-cyber-physical-systems-work-and-why-are-they-needed> (дата звернення)
4. Вимірювальні системи // Бубела Т. З., Федішин Т. І. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна, 2019) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2020/jan/20501/003.pdf>
5. Кіберфізичні системи та їх програмне забезпечення // Ван Чунжі, Яцишин С. П., Лиса О. В., Мідик А-В. В. Національний університет «Львівська політехніка» (Україна, 2018) [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2018/sep/14522/0064.pdf>
6. KS0497 Keystudio V4.0 Development Board (Compatible With Arduino Uno) : вебсайт. URL: [https://wiki.keyestudio.com/KS0497_Keyestudio_V4.0_Development_Board\(Compatible_With_Arduino_Uno\)\](https://wiki.keyestudio.com/KS0497_Keyestudio_V4.0_Development_Board(Compatible_With_Arduino_Uno)\)
7. Ультразвуковий датчик відстані HC-SR04: вебсайт. URL: https://arduino.ua/ru/prod182-yltrazvykovoi-datchik-rasstoyaniya-hc-sr04?srsId=AfmBOop_KiMJc9rEfVIOe5OaidNEtwW0qOZAFxXXthq-1C7swQ8tCm_q

8. Keystudio bt-24 Wireless Bluetooths Module RS232: вебсайт. URL:
<https://www.keyestudio.com/products/keyestudio-wireless-data-transmission-dailog-14531-chip-dx-bt24-v51-bluetooth-module->
9. Датчик кольору TCS34725: вебсайт. URL:
<http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TCS34725-Red>
10. Дюпон з'єднувальний дріт (Dupont) : вебсайт. URL:
<https://myproject.com.ua/ua/dyupon-soedinitelnyj-provod-ru.html>
11. I2C URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>
12. Інструкція з підключення ультразвукового датчика HC-SR04 до Arduino: вебсайт. URL: <https://myproject.com.ua/ua/instruktsiia-po-vykorystanniu-ultrazvukovoho-datchyka-hc-sr04-z-arduino-ru.html>
13. Interfacing a TCS34725 RGB Color Sensor With Arduino — A Complete Guide: вебсайт. URL: <https://www.makerguides.com/tcs34725-rgb-color-sensor-with-arduino/>
14. Arduino UNO R3 DATASHEET: вебсайт. URL:
<https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
15. Ks0194 keystudio Micro Servo: вебсайт. URL:
https://wiki.keyestudio.com/Ks0194_keystudio_Micro_Servo
16. KS0556 Keystudio 8833 Motor Driver Expansion Board: вебсайт. URL:
https://wiki.keyestudio.com/KS0556_Keyestudio_8833_Motor_Driver_Expansion_Board
17. HR8833 DUAL H-BRIDGE MOTOR DRIVER: вебсайт. URL:
<https://dfimg.dfrobot.com/nobody/wiki/1f19ca7c0797f9d725fe8e39e4f4a9ca.pdf>
18. Use PWM output with Arduino: вебсайт. URL:
<https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/9350537961500-Use-PWM-output-with-Arduino>
19. Using the Serial Monitor tool: вебсайт. URL:
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/ide-v2-serial-monitor/>

20. Keyestudio V4.0 Development Board Arduino Tutorial: вебсайт. URL: <https://docs.keyestudio.com/projects/KS0555/en/latest/arduino/arduino.html#assemble-ultrasonic-tank-robot>

21. Serial Peripheral Interface: вебсайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface

22. UART: вебсайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/UART>

23. Акумулятор Li-ion 18650 3.7v 2000mAh: вебсайт. URL: <https://maxservice.com.ua/ua/akumulyator-li-ion-18650-3-7v-2000mah>

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ
д.т.н., проф. Азаров О.Д.
«21» березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи
«Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод.
Частина 1. Апаратне забезпечення»
08-54. КБКР.040.00.000 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. ОТ
_____ Богомолів С. В.

Студент групи 1СП-216
_____ Заїченко І. Г.

м. Вінниця — 2025

1 Підстава для використання бакалаврської кваліфікаційної роботи (КБКР)

1.1 У сучасному світі розвиток робототехніки, мікроелектроніки та систем управління відкриває широкі можливості для інтелектуальних пристроїв, здатних автономно, без втручання людини, взаємодіяти і фізичним середовищем. Особливу роль у розвитку вище перерахованих напрямків відіграють кіберфізичні системи. Одним із прикладів таких систем є роботизована система для самостійного переміщення, збору даних та реагування на зміни у навколишньому середовищі.

1.2 Наказ про затвердження теми кваліфікаційної роботи.

2 Мета КБКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — створення прототипу кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод на базі Keyestudio Mini Caterpillar, що буде здатний до автономного переміщення, виявлення перешкод та їх обходу, збору інформації з сенсорів та реакції на зміни в фізичному середовищі, у якому він буде тестуватися та використовуватися.

2.2 Призначення розробки — побудова апаратної частини кіберфізичного комплексу збору даних з можливістю обходу перешкод.

3 Вихідні дані для виконання КБКР

3.1 Проведення аналізу поставленого завдання та огляд кіберфізичних систем;

3.2 Огляд та вибір основних компонентів, модулів та датчиків.

3.3 Аналіз конструкції міні-танка Keyestudio Mini Caterpillar Tank.

3.4 Інтеграція сенсорів та усіх виконавчих механізмів.

3.5 Виявлення можливих апаратних проблем.

3.6 Реалізація живлення усієї системи та оцінка енергоспоживання системи.

4 Вимоги до виконання КБКР

Головна вимога — створити адаптивний, функціональний та стабільний кіберфізичний комплекс, основними функціями якого буде автономне переміщення та обхід перешкод, а також збір даних за допомогою датчика кольору.

5 Етапи КБКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання	Очікувані результати
1	Аналіз завдання та огляд кіберфізичних систем. Аналіз вимог до кіберфізичних систем та вибір компонентів	21.03.25 — 30.03.25	Аналітичний огляд
2	Аналіз конструкції та збірка кіберфізичного комплексу	31.03.25 — 13.04.25	Розділ 2
3	Реалізація електроніки та комунікаційних можливостей комплексу	14.04.25 — 27.04.25	Розділ 3
5	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації	28.04.25 — 11.05.25	Пояснювальна записка, графічний матеріал та презентація

6 Матеріали, що подаються до захисту КБКР

До захисту подаються: пояснювальна записка КБКР, графічні та ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до КБКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту КБКР

Контроль виконання етапів здійснюється науковим керівником згідно з встановленими термінами. Захист БКР проходить на засіданні екзаменаційної

комісії, затвердженої наказом ректора.

8 Вимоги до оформлення та порядок виконання КБКР

8.1 При оформленні БКР використовуються:

- ДСТУ 3008 : 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;
- ДСТУ 8302 : 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;
- методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» (освітня програма «Системне програмування») — кафедра обчислювальної техніки, ВНТУ 2023.

8.2 Порядок виконання БКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21»

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи:

Кіберфізичний комплекс збору даних з можливістю обходу перешкод. Частина 1.
Апаратне забезпечення

Тип роботи: Бакалаврська кваліфікаційна робота

(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки

(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності StrikePlagiarism

Оригінальність 98% Схожість 2%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку Захарченко С. М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою StrikePlagiarism щодо роботи.

Автор роботи Заїченко І. Г.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи Богомолів. С. В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**КІБЕРФІЗИЧНИЙ КОМПЛЕКС ЗБОРУ ДАНИХ З МОЖЛИВІСТЮ
ОБХОДУ ПЕРЕШКОД. ЧАСТИНА 1. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

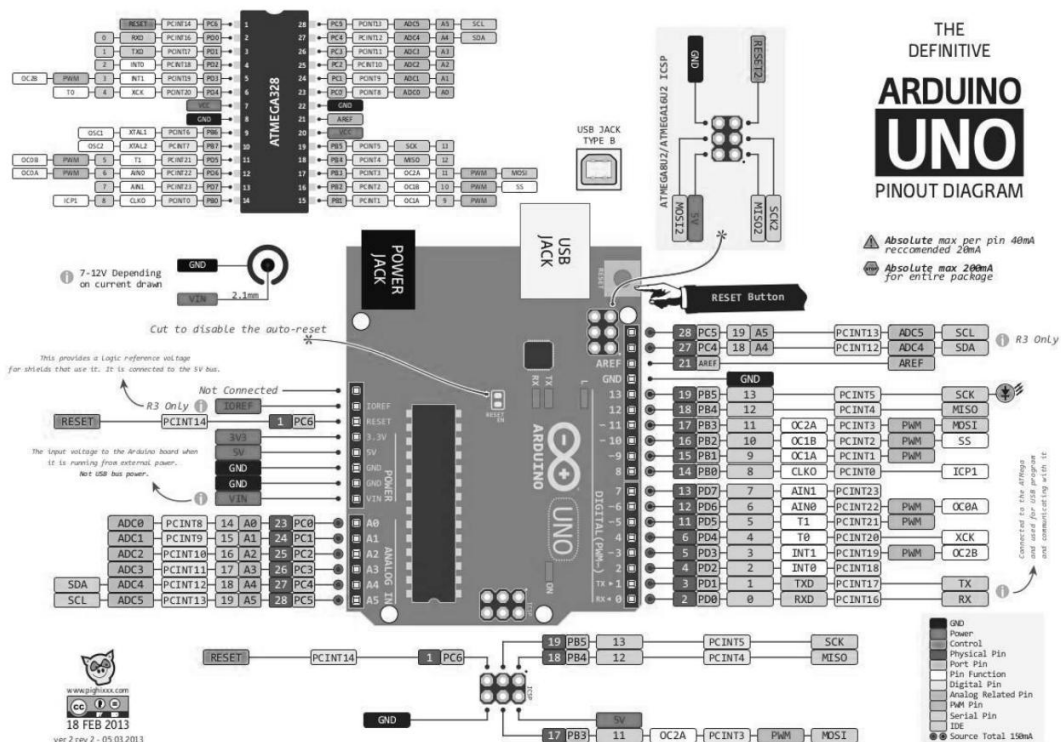


Рисунок В.1 — Повна розпіновка плати Arduino UNO

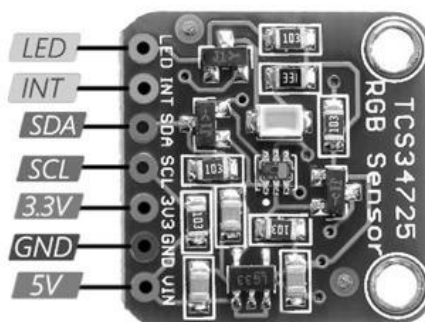


Рисунок В.2 — Розпіновка датчика кольору TCS34725

HC-SR04 Pinout

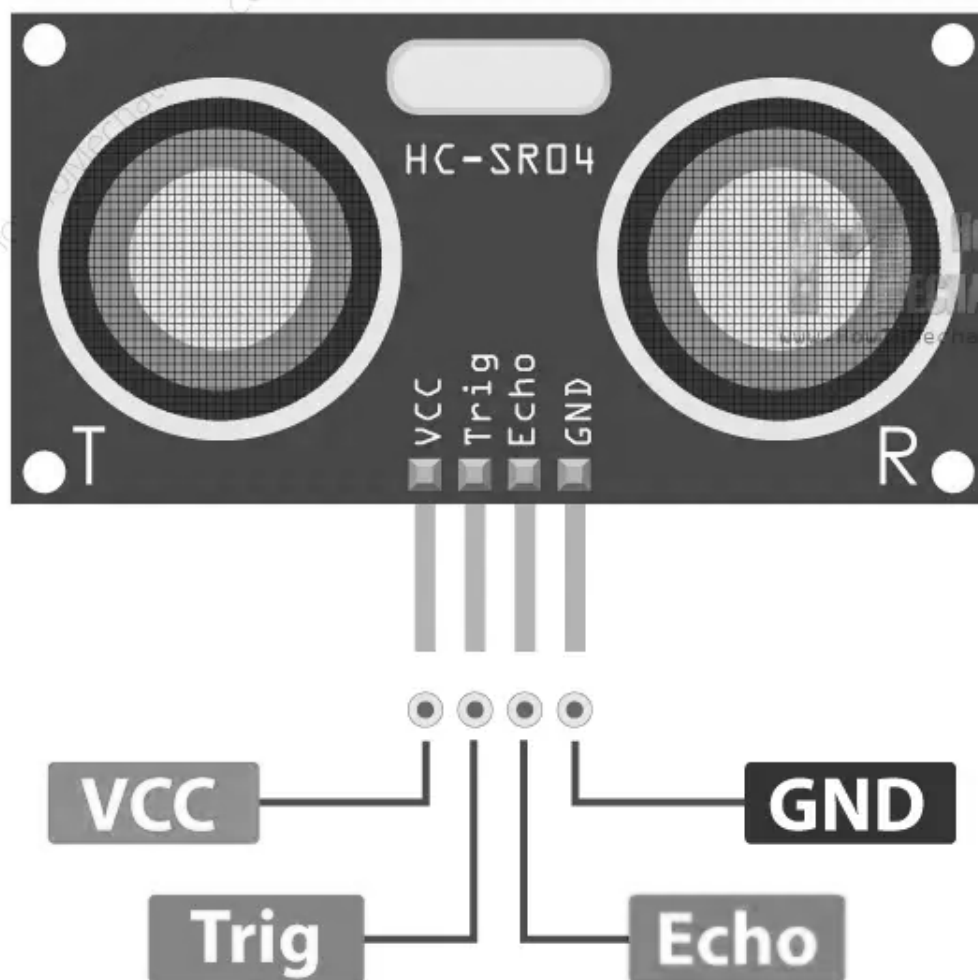


Рисунок В.3 — Розпіновка ультразвукового датчику HC-SR04

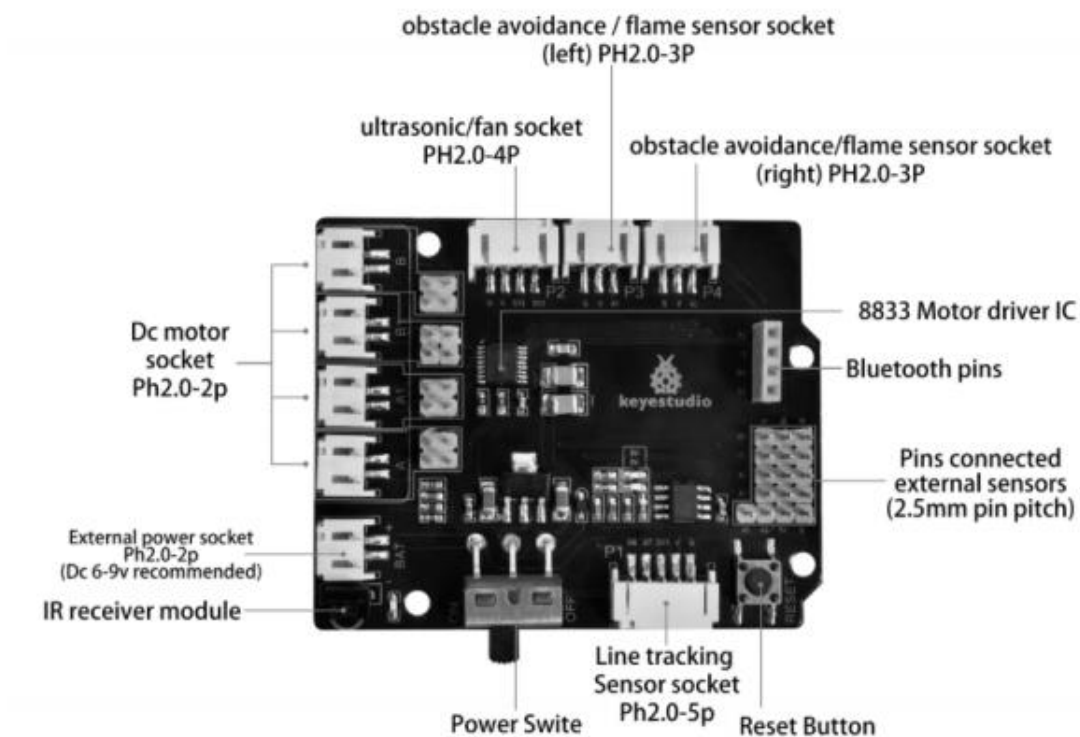


Рисунок В.4 — Основні елементи драйвера двигунів Keyestudio HR8833