

УДК 004.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/18>

**Новак Д.С.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мошенський А.О.**

Національний університет харчових технологій

**Олещенко Л.М.**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Медведєв М.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

*Кожна епоха має власні уявлення про те, що є сучасним, зручним, необхідним і прекрасним. На сьогодні, завдяки науково-технічному прогресу, те, що вважалося фантастичним, стало нашою реальністю, особливо в області комп'ютерної інженерії.*

*Наразі ми живемо у світі високих технологій, а роботи стали нашою реальністю. Історія розвитку робототехніки бере початок ще з глибокої стародавності, у ті часи, коли вперше виникли ідеї й були початі перші спроби створення людиноподібних пристроїв, статуї з рухливими частинами, механічні слуги, тощо.*

*Стрімкий розвиток робототехніки, переважно за останні декілька десятиліть років, значно збагатив науково-технічний прогрес й представив людству нові засоби автоматизації, від промислових до персональних роботів.*

*У XXI сторіччі широко використовуються комерційні та промислові роботи для виконання різної роботи. Роботи точніші та надійніші за людей. Роботів також доцільно застосовувати у роботах, які небезпечні для людини.*

*Робототехніка на сьогодні займає передову позицію в інноваційних комп'ютерних технологіях. Ця галузь є яскравим прикладом популярного в світі напрямку STEAM, який поєднує в собі природничо-наукові дисципліни з інноваційними технологіями.*

*Робототехнічні системи являють собою базу автоматизації промислової, медичної, транспортної, військової, аерокосмічної та багатьох інших галузей діяльності людей які виконують різноманітні функції. Тобто, найближчим часом роботи стануть невід'ємною частиною нашого життя, а мобільні девайси будуть задіяні у всіх сферах діяльності людини.*

*Метою даної роботи є розроблення програмно-апаратного забезпечення управлінням мобільним роботом на базі мікроконтролера ESP8266 з використанням програмно-апаратних способів реалізації. Для досягнення поставленої мети необхідне виконання наступних задач: оволодіння сучасними методами збору, аналізу та обробки інформації для управління мобільним роботом; аналіз архітектури робота та розробка схем алгоритмів роботи мобільного робота; розробка програмно-апаратного забезпечення управління мобільним роботом.*

*У статті проведено: дослідження математичної та фізичної моделі робота-навука, розробка й тестування програмно-апаратного забезпечення управління мобільним крокуючим роботом.*

**Ключові слова:** робототехніка, мобільний робот, програмне забезпечення, апаратне забезпечення, крокуючий робот.

**Постановка проблеми.** У світі відбувається стрімке зростання темпу впровадження роботів у промисловості та побуті. За останній рік у світі було продано понад 600 тисяч промислових роботів, а за оцінками фахівців у 2023 році це число досягне близько 750 тисяч [1]. Більшість впроваджених роботів – це роботи, які застосовуються в приміщенні, тобто Indoor типу. Обсяги світового ринку Indoor роботів також стрімко зростають і до 2026 року досягнуть 50 мільярдів доларів [2]. До існуючої статистики включені всі промислові роботи Indoor типу, проте більшість із них – це мобільні робототехнічні платформи, що впроваджуються у складські приміщення та туди, де особливо важлива швидкість та точність перевезення вантажів.

Повсюди відбувається заміщення людини роботами та залучення мобільних роботів для вирішення завдань, які раніше вирішувалися без їх використання. Процес впровадження мобільних роботів на виробництво дуже трудомісткий. Необхідно розробити систему управління цим роботом, а також підготувати інфраструктуру приміщення, в якому буде експлуатуватися мобільний робот. Усі ці завдання входять у поняття побудови програмно-апаратного забезпечення управління мобільним роботом.

**Постановка задачі.** Метою роботи є розробка програмно-апаратного забезпечення для управління мобільною роботою технічною платформою на базі мікроконтролера ESP8266, з використанням програмно-апаратних способів реалізації.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз наявних систем управління мобільними роботами, була розроблена структурна схема, був зроблений вибір програмних та апаратних компонентів та розроблено функціональну схему. Також було побудовано систему прийому передачі даних між компонентами та виведено математичну модель мобільних платформ. Побудова системи управління та модель для зняття параметрів з мобільної платформи розроблені з використанням мови програмування C++ та на базі мікроконтролера Espressif.

Одним з найбільш швидкозростаючих напрямків робототехніки є мобільна робототехніка (MR). MR можна розділити на дві категорії: одна – це робот з дистанційним керуванням, а інша – робот, який може виконувати певні дії в автономному режимі. У більшості випадків роботом керує людина-оператор на рівні руху, що вимагає від людини постійного спостереження за роботом і швидкого контролю за його рухами. Такий підхід визначається нездатністю робота приймати самостійні рішення і має багато недоліків, таких як необхідність організації та підтримки каналів зв'язку з людьми-операторами (через кабельний або радіо зв'язок), які значно обмежують дальність роботи робота.

Крім того, не завжди можна правильно оцінити ситуацію на основі телеметрії та належним чином керувати нею. Може статися, що мобільний робот знаходиться поза зоною моніторингу або втратить зв'язок з ним. У таких випадках робот повинен автоматично визначати типи виникаючих перед ним перешкод і вибирати відповідний спосіб їх подолання.

Розроблену систему управління мобільним роботом можна виразити як взаємозв'язок між кількома підсистемами та зовнішнім середовищем та системою керування ([3], рис. 1).

Системи управління рухом мобільного робота призначена для планування таких програмних траєкторій робота, які б приводили робота у вказану цільову точку в середовищі з перешкодами, враховуючи при цьому динаміку робота.

Цільовий стан системи формується системою планування траєкторії. На виході цієї системи розраховуються і формуються значення бажаної лінійної швидкості руху і кута повороту тіла з фізичних розмірів приводу (в даному випадку кут повороту валу сервоприводу).

Система реалізує взаємодію між програмним забезпеченням і апаратним забезпеченням робота. На вхідній стороні він має сигнал значення швидкості, отриманий від системи контролю руху, а на стороні виходу отримуємо зміну положення робота. Взаємодія із зовнішнім середовищем досягається за допомогою системи вимірювання інформації, яка використовує датчики для отримання інформації про стан зовнішнього середовища, що відноситься до робота. Дана інформація являється зміною для алгоритму розрахунку і побудови траєкторії руху робота, яка обробляється системою планування траєкторій.



Рис. 1. Загальна система управління роботом

Кінематика руху крокуючого мобільного робота

У робототехніці є дві основних задачі кінематики: пряма та зворотна ([4-6], рис. 2).

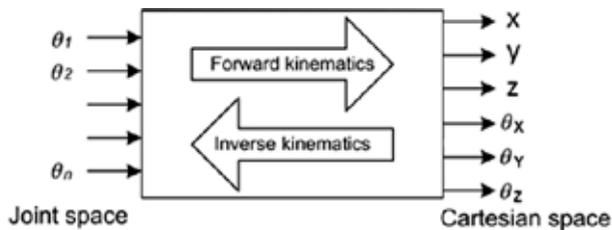


Рис. 2. Загальний вид прямої та зворотної кінематики

Пряма задача – це задача, обчислення положення (X, Y, Z) робочого органу робота за його кінематичною схемою та заданою орієнтацією (Q1, Q2...Qn) його ланок (n – число ступенів свободи маніпулятора, Q – кути повороту).

Зворотна задача – це задача, обчислення кутів (Q1, Q2...Qn) за заданим положенням (X, Y, Z) робочого органу і знову ж таки відомою схемою його кінематики.

У робототехніці, найбільш поширена зворотна кінематика. Вона є математичним процесом обчислення змінних спільних параметрів, необхідних, щоб розмістити кінець кінематичного ланцюга, такі як робот маніпулятор, в заданому положенні та орієнтації по відношенню до старту ланцюга. При заданих параметрах з'єднання положення та орієнтація кінця ланцюжка, наприклад, руки робота, зазвичай можна обчислити безпосередньо, використовуючи кілька додатків тригонометричних формул, процес, відомий як пряма кінематика. Проте зворотна операція, як правило, набагато складніша.

Кінематика робота вимагає визначення структури робота за допомогою набору ланок, які в основному є твердими тілами, і суглобів, що зв'язують їх та обмежують їх відносний рух, таких як обертальні або поступальні суглоби.

```
void Servo_PROGRAM_Center()
{
    // Очистити резервне поточне значення двигуна
    for (int Index = 0; Index < ALLMATRIX; Index++) {
        Running_Servo_POS[Index] = Servo_Act_1[Index];
    }

    // Перезавантаження попередньо встановлених значень двигуна
    for (int iServo = 0; iServo < ALLSERVOS; iServo++) {
        Set_PWM_to_Servo(iServo, Running_Servo_POS[iServo]);
        delay(10);
    }
}
```

Рис. 4. Функція Servo\_PROGRAM\_Center

Рух кінематичного ланцюга моделюється кінематичними рівняннями ланцюга. Ці рівняння визначають конфігурацію ланцюга з погляду його спільних параметрів.

Кінематичний аналіз – один із перших кроків у проектуванні більшості промислових роботів. Кінематичний аналіз дозволяє розробнику отримати інформацію про становище кожного компонента у механічній системі. Ця інформація необхідна для подальшого динамічного аналізу разом із шляхами управління.

Зворотна кінематика – це приклад кінематичного аналізу системи твердих тіл зі зв'язками або кінематичного ланцюга. У кінематичних рівняннях робота можуть бути використані визначення петлевих рівнянь складної шарнірної системи. Ці рівняння петля є нелінійними обмеженнями на параметри конфігурації системи. Незалежні параметри цих рівняннях відомі як ступеня свободи системи.

Всі скетчі, компілюються в програму написані в редакторі вихідного коду VSCode (рис. 3) [7]:

```
int "variable initialization";
#include "library name";
void setup() {
    // code;
}
void loop() {
    // code;
}
```

Рис. 3. Загальний вигляд VSCode

В int ініціалізується змінна, що використовується в програмі (наприклад, int Servo\_PROGRAM); include використовується для підключення необхідних для роботи програми бібліотек (наприклад, #include<Servo.h>). Наприклад, функція Servo\_PROGRAM\_Center() має вигляд (рис. 4):

Фрагмент коду, з функцією setup наведено при- ведено на рис. 5.

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Q1 rini Start!");
}
```

Рис. 5. Фрагмент функції Setup

Фрагмент коду, з функцією loop наведено при- ведено у рис. 6.

```
void loop(void)
{
  // Побудова веб-сторінки
  server.handleClient();

  if (Servo_PROGRAM >= 1 ) {
    switch (Servo_PROGRAM) {
      // code }}
    }
}
```

Рис. 6. Фрагмент функції loop

Після вмикання мікроконтролер обробляє вирази між фігурними дужками функції, після закінчення виконання функції, контролер береться за нескінченне послідовне виконання програмного коду в динамічному режимі.

Переваги програмування в VSCode wiring: доступність; простий у використанні і зрозумілий інтерфейс; кросплатформеність; наявність інструментів, необхідних для роботи; вбудований набір прикладних програм; функції збереження, експорту, перевірки, пошуку, заміни ескізів.

Вибір апаратного забезпечення управління мобільним роботом

В даній роботі використовувався MPArduinoSpiderRobotR1 ([8], рис. 7), як основа для розробки програмно-апаратного управління мобільним роботом.



Рис. 7. ArduinoSpiderRobotR1

Робот R1 – чотириногий крокуючий Wi-Fi-робот, що базується на основі платформи ESP8266, використовує 8 сервоприводів та драйвер (рис. 8), яким можна керувати через веб-інтерфейс будь-якого смартфона.

NodeMCU – це платформа з відкритим кодом. Спочатку вона включала мікропрограму, яка працює на ESP8266 Wi-Fi SoC від Espressif Systems, і апаратне забезпечення, яке було засноване на модулі ESP-12. Пізніше була додана підтримка 32-розрядного MCU ESP32. Назва «NodeMCU» поєднує слова «вузол» і «MCU» (блок мікроконтролера). Термін «NodeMCU» відноситься до мікропрограми, тобто це прошивка з відкритим вихідним кодом, до якої входять проекти прототипних плат.

Сервопривід (рис. 9) найбільш поширений в робототехніці. Без нього не обійтися, особливо якщо мова йде про вирішення проблеми точного переміщення самого робота чи предметів які він повинен переміщати. Це завдання виникає при виконанні будь-яких механічних робіт (фарбуванні, зварюванні, шліфуванні, переміщення виробів по конвеєру, ходьбі, тощо).

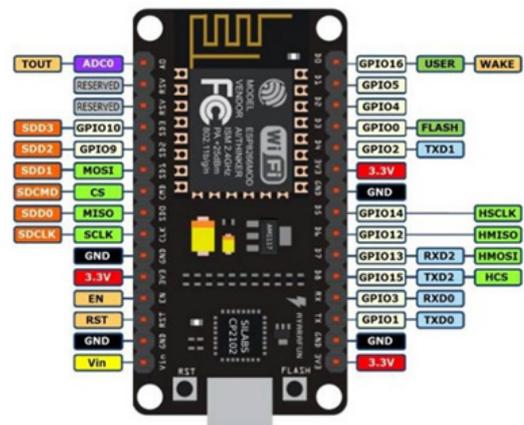


Рис. 8. NodeMCU ESP8266



Рис. 9. Micro Servo SG90 9g

Рух робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота. Сервопривод – це пристрій в системах автоматичного регулювання або дистанційного керування, що за рахунок енергії допоміжного джерела здійснює механічне переміщення регулюючого органу відповідно до отримуваних від системи керування сигналів.

Алгоритм ходьби робота засновано на розв'язанні задачі зворотної кінематики, – це ланцюжок, у якому кожна ланка пов'язана з двома сусідніми ланками через шарніри.

**Висновки.** В даній роботі розглянуто мобільні роботи, спосіб пересування яких є кроки. В май-

бутньому роботі на ногах зможуть пробиратися туди, де людям знаходитися небезпечно. Вони будуть стрибати з парашутом у лісові пожежі для збору даних у реальному часі, бігти у палаючі будівлі у пошуках мешканців, заходити на територію катастроф, вивчаючи важкодоступні території, тощо.

Розроблено програмно-апаратне управління мобільним роботом Spider Robot R1 на базі мікроконтролера ESP8266, що базується на програмуванні мовою C++ з використанням програмно-апаратних способів реалізації. Рух даного робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота, мікроконтролер ESP8266, який в цьому випадку грає роль точки доступу, та надає веб-контроль за допомогою будь-якого смартфона або браузера комп'ютера, які підключені до нього. Алгоритм роботи програми робота-павука базується на розв'язанні задачі зворотної кінематики.

Для підвищення ефективності роботи мобільного крокуючого робота в нього було вмонтовано додаткові датчики та вдосконалено алгоритм програмного забезпечення з використанням штучного інтелекту.

#### Список літератури:

1. Світле майбутнє: яких технологічних трендів чекати у 2022–2025 роках. *Mind.ua*. URL: <https://mind.ua/openmind/20234271-svitlye-majbutne-yakih-tehnologichnih-trendiv-chekati-u-20222025-rokah> (дата звернення: 15.08.2022).
2. Worldwide - indoor robots market size 2026 | Statista. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/822051/global-indoor-robots-market-size/#statisticContainer> (date of access: 15.08.2022).
3. Папуша Д., Чепюк Л. Автоматизована система управління рухом робота для дослідження небезпечних приміщень. *Тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення – 2017»*. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/154.pdf>.
4. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 622 с. ISBN 5-03-000805-5.
5. Chakraborty E. Кинематика роботов: 9 важных фактов, которые вы должны знать | Лямбда-выродки. *Lambda Geeks*. URL: <https://ru.lambdageeks.com/robot-kinematics-forward-inverse/> (дата звернення: 15.08.2022).
6. Кинематика: прямая и обратная задачи – RoboCraft. *RoboCraft*. URL: <https://robocraft.ru/mechanics/756> (дата звернення: 15.08.2022).
7. Уроки Arduino структура программы для начинающих. *Ардуино интернет-магазин | контроллеры, датчики*. URL: [https://geekmatic.in.ua/arduino\\_uroki\\_struktura\\_programmi](https://geekmatic.in.ua/arduino_uroki_struktura_programmi) (дата звернення: 15.08.2022).
8. R1 Quadruped robot mg90s. *MakerBuying Cloud*. URL: <https://cloud.makerbuying.com/index.php/s/DXeWZJETFwnxLNF?path=/Spider%20robot> (date of access: 15.08.2022).

Novak D.S., Moshenskyi A.O., Oleshchenko L.M., Medvedev M.H., Lisovets S.M.

#### DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOT CONTROL SOFTWARE

*Each era has its own ideas about what is modern, convenient, necessary and beautiful. Today, thanks to scientific and technological progress, what was considered fantastic has become our reality, especially in the field of computer engineering.*

*We live in a high-tech world, and robots has become our reality. The history of the development of robotics dates back to ancient times, in those days when ideas first arose and the first attempts were made to create humanoid devices, statues with moving parts, mechanical servants, etc.*

*The rapid development of robotics, mainly over the past few decades, has significantly enriched scientific and technological progress and introduced new automation tools to mankind, from industrial to personal robots.*

*In the 21st century, commercial and industrial jobs are widely used to perform various jobs. Work is more accurate and reliable than people. It is also advisable to use works in works that are dangerous to humans.*

*Robotics today occupies a leading position in innovative computer technologies. This industry is a prime example of the world's popular STEAM direction, which combines the natural sciences with innovative technologies.*

*Robotic systems are the basis for automation of industrial, medical, transport, military, aerospace and many other industries of people performing various functions. That is, in the near future, work will become an integral part of our lives, and mobile accessories will be involved in all areas of human activity.*

*The purpose of this work is to develop software and hardware for controlling a mobile robot based on the ESP8266 microcontroller using software and hardware implementation methods. To achieve these goals, it is necessary to perform the following tasks: mastering modern methods of collecting, analyzing and processing information to control a mobile robot; analysis of the robot architecture and development of schemes for the operation of a mobile robot; development of software and hardware for mobile robot control*

*In the research, the following was carried out: a study of the mathematical and physical model of a spider robot, the development and testing of software and hardware for controlling a mobile walking robot.*

**Key words:** *robotics, mobile robot, software, hardware, walking robot.*