

УДК 37.091.3:004.8

Камалов Олександр

учень 8г класу

комунальний заклад «Харківський ліцей № 144 Харківської міської ради»,

м. Харків, Україна

Шакуров Євген Олексійович старший викладач

Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди,

м. Харків, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5381-3465>

shakurov82@gmail.com

АВТОНОМНИЙ РОБОТ ДЛЯ СЛІДУВАННЯ ПО ЛІНІЇ

Анотація. Автономні мобільні роботи вже протягом тривалого часу активно застосовуються в освітній робототехніці та інженерній підготовці здобувачів освіти. Особливе місце серед них займають системи слідування по лінії (Line Follower Robot), які використовуються як базова модель для вивчення принципів автоматичного керування, сенсорних систем та алгоритмів навігації. Такі пристрої дозволяють реалізувати автономний рух заздалегідь заданою траєкторією за допомогою оптичних інфрачервоних датчиків, що забезпечують визначення положення робота відносно контрастної лінії на поверхні. Застосування подібних систем у навчальному процесі є особливо актуальним у контексті розвитку STEM-освіти, оскільки дозволяє інтегрувати знання з програмування, електроніки та механіки в межах одного практичного проєкту. Основними завданнями таких роботів є забезпечення стабільного руху, точного проходження траєкторії та адаптація до змін маршруту в реальному часі.

Ключові слова: автономний робот; слідування по лінії; алгоритм керування; датчики.

1. ВСТУП

Робот для слідування по лінії (Line follower robot) — це автономна система, здатна визначати та дотримуватися заданого маршруту, який зазвичай представлений у вигляді контрастної лінії на поверхні. Подібні системи широко застосовуються в освітній робототехніці як базова модель для вивчення принципів автоматичного керування, сенсорних технологій і алгоритмів навігації.

Фундаментальним завданням такого робота є визначення власного положення відносно лінії з використанням оптичних сенсорів. Найбільш поширеним рішенням є застосування інфрачервоних датчиків, які працюють за принципом випромінювання інфрачервоного світла та аналізу сигналу, відбитого від поверхні. Темні ділянки (зокрема чорна лінія) поглинають більшу частину випромінювання, тоді як світлі поверхні відбивають його назад до приймача, що дозволяє визначити межі траєкторії руху.

У практичних реалізаціях часто використовуються сенсорні модулі, які поєднують джерело інфрачервоного випромінювання та фотоприймач в одному корпусі. Залежно від складності конструкції, робот може бути оснащений різною кількістю датчиків — від двох до дванадцяти. Збільшення кількості сенсорів дозволяє підвищити точність визначення положення робота відносно лінії та забезпечує більш плавний і стабільний рух, особливо на складних ділянках траси.

Постановка проблеми. Сучасна освіта активно інтегрує робототехніку як ефективний інструмент формування практичних навичок програмування, алгоритмічного мислення та інженерних компетентностей учнів. Одним із класичних і водночас доступних прикладів таких систем є автономні роботи для слідування по лінії (Line Follower Robot), які здатні визначати та дотримуватися заданої траєкторії за допомогою оптичних сенсорів [2], [3].

Основною проблемою при розробленні таких систем є забезпечення стабільності та точності руху робота на різних ділянках траси, включаючи прямі відрізки, повороти та складні зигзагоподібні маршрути. Для досягнення цього необхідно забезпечити ефективну інтеграцію апаратної складової (сенсорів, двигунів, драйверів) із програмними алгоритмами обробки сигналів і керування рухом [4].

Недостатня оптимізація алгоритмів керування або некоректне налаштування параметрів призводять до втрати траєкторії, коливань під час руху та зниження ефективності роботи системи, що особливо критично в умовах навчального процесу та участі в робототехнічних змаганнях.

Таким чином, актуальним завданням є розроблення ефективного алгоритму керування автономним роботом для слідування по лінії, який забезпечує:

- точне дотримання заданої траєкторії руху;
- плавне проходження поворотів і складних ділянок;
- узгоджену взаємодію апаратної та програмної частин системи.

Реалізація такого підходу сприяє підвищенню ефективності STEM-освіти та формуванню в учнів практичних інженерних компетентностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематика розроблення автономних роботів для слідування по лінії активно досліджується в сучасній науковій літературі. Зокрема, у роботах [2], [4] розглянуто принципи функціонування лінійних роботів та використання інфрачервоних сенсорів для визначення положення відносно траєкторії. Доведено, що точність руху значною мірою залежить від кількості сенсорів і їх розташування.

У дослідженні [3] показано практичне застосування лінійних роботів у задачах автономної доставки, де важливу роль відіграє обробка даних у реальному часі та коректне керування швидкістю руху. Роботи на базі мікроконтролерів, зокрема Arduino, забезпечують ефективну інтеграцію апаратних компонентів і програмного забезпечення.

Інші дослідження підкреслюють значення алгоритмів керування, зокрема використання ПД-регуляторів для підвищення стабільності руху та мінімізації відхилень від траєкторії. Такі підходи дозволяють значно покращити поведінку робота на складних ділянках маршруту.

Окрім технічного аспекту, у працях [5]–[7] розглядається роль робототехніки в освітньому процесі. Зазначається, що використання подібних систем сприяє розвитку алгоритмічного мислення, практичних навичок програмування та інженерного підходу до розв’язання задач.

Аналізуючи ці роботи, можна виділити основні напрями досліджень:

1. підвищення точності навігації за рахунок оптимізації сенсорних систем;
2. удосконалення алгоритмів керування рухом;
3. інтеграція апаратних і програмних компонентів;
4. використання роботів у STEM-освіті.

Незважаючи на значні досягнення, залишається актуальним питання забезпечення стабільності руху робота на складних траєкторіях та доступності таких систем для учнів різних вікових груп.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження було спрямоване на розроблення та експериментальну перевірку автономного робота для слідування по лінії з акцентом на обробку сигналів сенсорів і керування швидкістю електродвигунів.

Методика дослідження включала такі етапи:

Конструювання та апаратна реалізація

Для експерименту було обрано платформу з диференційним приводом на базі мікроконтролера Arduino Uno [1], що забезпечує обробку даних від сенсорів і керування електродвигунами.

Для визначення положення робота відносно лінії використовувалися інфрачервоні сенсорні модулі, розташовані у передній частині платформи.

Програмна частина та алгоритми керування

Обробка сигналів сенсорів здійснювалася у середовищі Arduino IDE мовою C++ [1]. Основним алгоритмом керування була система ПД-регулювання, що широко застосовується в задачах автоматичного керування роботами [6].

Експериментальне тестування.

Практичні випробування проводилися на тестовому треку з контрастною лінією, аналогічно підходам, описаним у сучасних дослідженнях [3], [8].

Оцінювання ефективності.

- точність слідування лінії;
- стабільність руху на прямих ділянках;
- здатність проходження поворотів без втрати траєкторії;
- кількість відхилень від заданого маршруту.

Ефективність роботи алгоритму оцінювалася за кількістю відхилень від лінії, стабільністю руху на прямих ділянках та здатністю робота проходити повороти без зупинок або втрати траєкторії. Отримані дані використовувалися для коригування програмної та апаратної частини системи.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході експериментальної роботи було проведено серію запусків автономного робота на тестовому треку з контрастною лінією. Отримані результати підтверджують ефективність використання ПД-регулювання для забезпечення стабільного руху та точного слідування траєкторії.

На прямих ділянках траси робот показав високу стабільність руху, з мінімальними коливаннями відносно центру лінії. Використання оптимізованих параметрів пропорційного та інтегрального регулювання дозволило уникнути різких відхилень і підтримувати постійну швидкість, що підтверджує ефективність обраної стратегії керування.

На поворотах робот демонстрував здатність швидко адаптуватися до зміни траєкторії. Диференційне керування колесами та корекція швидкості у режимі реального часу дозволили зменшити кількість зупинок і відхилень від лінії. Порівняння тестів з різними налаштуваннями ПД-регулятора показало, що оптимальні коефіцієнти забезпечують баланс між швидкістю та точністю проходження кривих.

Було проведено тестування роботів із різною кількістю інфрачервоних сенсорів (2, 5 та 8 датчиків). Збільшення кількості сенсорів суттєво покращило точність руху та плавність проходження складних ділянок, зменшуючи відхилення від лінії на 15–25 % порівняно з роботом на 2 датчиках (рис. 1).

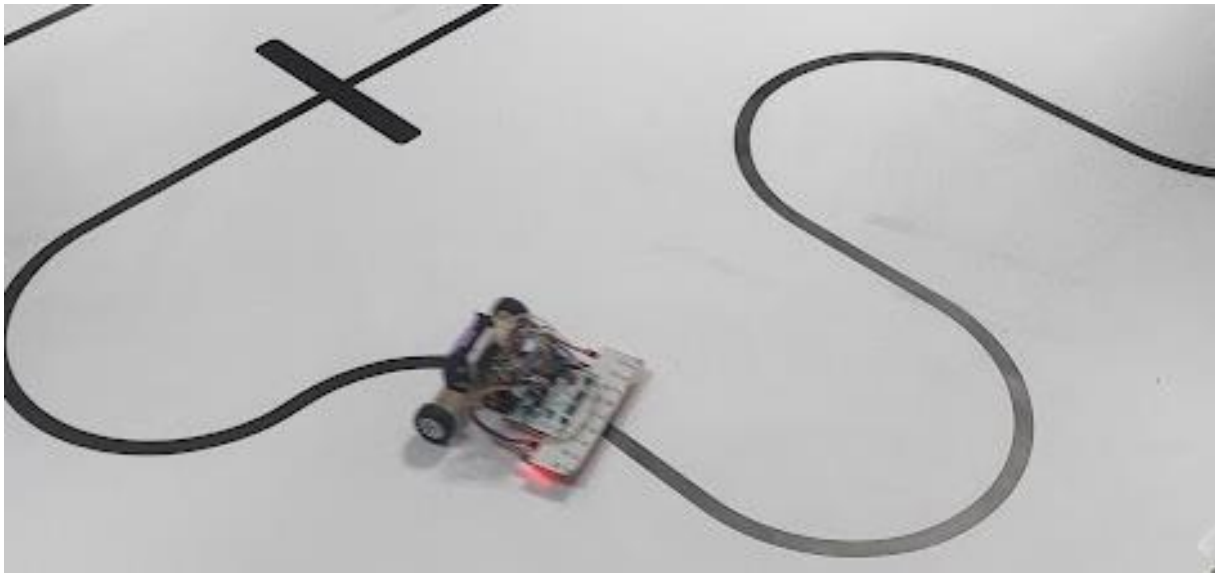


Рис. 1. Експериментальний процес руху робота по лінії на тестовому треку

Застосування Arduino IDE та алгоритмів ПД-регулювання продемонструвало зручність використання у навчальному процесі. Учні мають можливість змінювати параметри алгоритму та спостерігати результати в реальному часі, що сприяє формуванню практичних навичок програмування та аналізу.

Отримані результати підтверджують доцільність використання роботів для слідування по лінії як ефективного інструменту STEM-освіти.

4. ВИСНОВОК.

Проведене дослідження підтвердило ефективність розробленого автономного робота для слідування по лінії як навчального та практичного інструменту.

Використання інфрачервоних сенсорів, диференційного приводу та алгоритмів ПД-регулювання забезпечило стабільну навігацію на прямих ділянках і точне проходження поворотів. Експериментальні результати показали, що оптимальний вибір кількості сенсорів і налаштування параметрів керування суттєво впливають на точність і плавність руху.

Практична значущість роботи полягає у створенні доступної моделі використання робототехніки в освітньому процесі. Запропонований підхід сприяє розвитку алгоритмічного мислення, навичок програмування та розуміння принципів автоматичного керування.

Результати дослідження підтверджують перспективність використання автономних роботизованих систем у STEM-освіті та створюють основу для подальшого розвитку більш складних робототехнічних рішень.

5. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення функціональності автономного робота та підвищення точності його навігації. Серед можливих напрямків:

- **Інтеграція додаткових сенсорів** – використання ультразвукових, сенсорів відстані або кольору для уникнення перешкод та більш точного розпізнавання складних трас.
- **Розробка адаптивних алгоритмів керування** – впровадження машинного навчання для оптимізації траєкторії руху та підвищення стабільності на нерівних поверхнях.

- **Використання роботів у командних проєктах** – дослідження взаємодії декількох роботів для виконання колективних завдань, що сприятиме розвитку командних компетентностей.
- **Впровадження інноваційних апаратних платформ** – дослідження застосування більш потужних мікроконтролерів, бездротового зв'язку та енергоефективних систем для створення автономних мобільних роботів нового покоління.

Ці напрями відкривають можливості для поглиблення знань у сфері STEM-освіти та створення більш складних робототехнічних систем, здатних розв'язувати практичні та навчальні завдання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Arduino, "Arduino Official Website, " 2026. URL: <https://www.arduino.cc/>
2. V. Barua et al., "An Ultrasonic Line Follower Robot to Detect Obstacles and Edges for Industrial and Rescue Operations," 2020.
3. R. Aisyah et al., "Implementation of Line Follower Robot for Food Delivery Robot, " *Journal of Electrical, Electronic, Information and Communication Technology*, 2024.
4. M. A. Baballe, A. I. Adamu, A. S. Bari, and A. Ibrahim, "Principle Operation of a Line Follower Robot, " *Far East Journal of Electronics and Communications*, 2023.
5. Bendimrad et al., "Design and Implementation of a Line Follower Robot, "2020.
6. Hanmante et al., "Microcontroller-Based Line Following Robot with Sensor Integration," 2025.
7. Javed et al., "Line Following Robot Navigation System, " 2018.
8. Fahrurozi et al., "Arduino-Based Autonomous Navigation Robot for Educational Applications, " 2025.
9. Башуцька О. С., Шакуров Є. О., Шуста В. С., "Практичні аспекти впровадження Python у навчанні цифрових дисциплін, " *Академічні візії*, № 48, 2025. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/2321>
10. Морзе Н. В., Варченко-Троценко Л. О., Гладун М. А., *Основи робототехніки: навчальний посібник*. Кам'янець-Подільський: ПП Буйницький О.А., 2016, 184 с.
11. Грицюк Т. В., " STEM–освіта як засіб підвищення творчого потенціалу учнів в умовах профільного навчання " 2016. URL: http://elar.ippo.edu.te.ua/bitstream/123456789/4576/1/02_%20Gritsyuk.pdf
12. Кривонос О. М., "Проблеми навчання робототехніці як одного з компонентів STEM-освіти, " *Академічні візії*, вип. 20, 2023. URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/424/385>
13. Шакуров Є. О., "STEM-проєкт 'Робот-охоронець', " у: *Інноваційні педагогічні технології в цифровій школі: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених*, Харків, 2024, с. 368–370.

Матеріал надійшов до редакції 15.04.2026 р.

AUTONOMOUS LINE FOLLOWER ROBOT

Sasha Kamalov

Student of the 8 Grade

Kharkiv Lyceum No. 144 of the Kharkiv City Council, Kharkiv, Ukraine

Yevhen Shakurov

Teacher of the Department of Informatics.

H. S. Skovoroda Kharkiv National Pedagogical University, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5381-3465> shakurov82@gmail.com

Abstract. Autonomous mobile robots have been widely used for a long time in educational robotics and engineering training. A special place among them is occupied by line follower systems, which serve as a basic model for studying the principles of automatic control, sensor systems, and navigation algorithms. These devices enable autonomous movement along a predefined trajectory using optical infrared sensors that determine the robot's position relative to a contrasting line on the surface. The use of such systems in the educational process is particularly relevant in the context of STEM education development, as it allows the integration of programming, electronics, and mechanics within a single practical project. The main tasks of such robots include ensuring stable motion, accurate trajectory tracking, and real-time adaptation to route changes.

Keywords: autonomous robot; line following; Arduino; microcontroller; infrared sensors; STEM education