

АНАЛІЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ КЛАСУ MINI SUMO ДЛЯ BATTLE OF ROBOTS

Демченко А.В.

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: andrii.demchenko1@nure.ua

Анотація: У статті проведено аналіз сучасних систем керування мобільними роботами класу Mini Sumo, які використовуються у змаганнях типу Robots Battle. Розглянуто особливості побудови апаратної та програмної частини, принципи роботи сенсорних систем, алгоритми прийняття рішень та забезпечення автономності. Окрему увагу приділено ефективності різних підходів до реалізації стратегій виявлення та витіснення супротивника з арени. Наведено порівняння типових технічних рішень та обґрунтовано доцільність використання адаптивних і високошвидкісних систем обробки інформації в реальному часі для підвищення конкурентоспроможності роботів.

Ключові слова: Mini Sumo, мобільні роботи, системи керування, Robot Battle, автономні системи, сенсорика, мікроконтролери, алгоритми керування.

ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS FOR MINI SUMO CLASS MOBILE ROBOTS FOR BATTLE OF ROBOTS

Andrii Demchenko

Department of KITAR, Kharkiv National University of Radioelectronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave.,

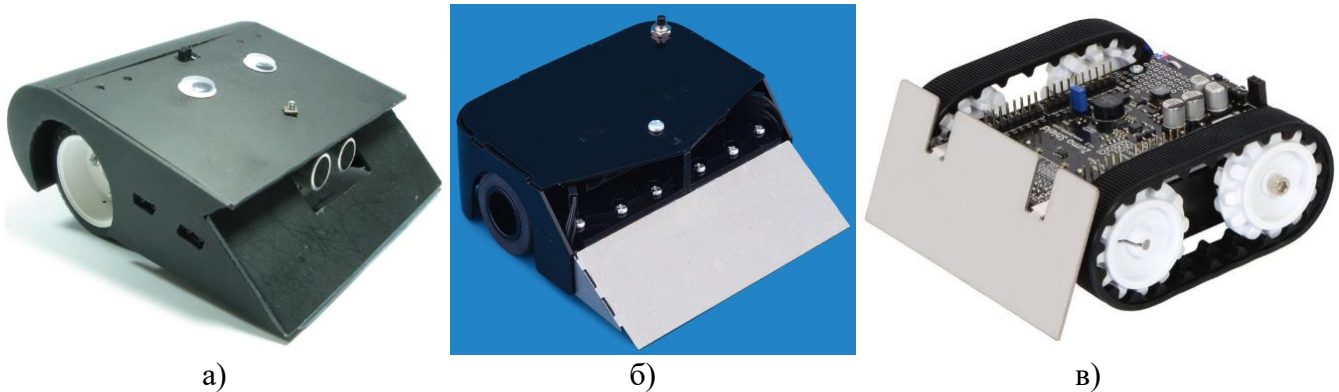
E-mail: andrii.demchenko1@nure.ua

Annotation: The article analyzes modern control systems for mobile robots of the Mini Sumo class, which are used in competitions such as Robots Battle. The features of the hardware and software construction, the principles of operation of sensor systems, decision-making algorithms and ensuring autonomy are considered. Special attention is paid to the effectiveness of various approaches to the implementation of strategies for detecting and displacing the opponent from the arena. A comparison of typical technical solutions is presented and the feasibility of using adaptive and high-speed real-time information processing systems to increase the competitiveness of robots is substantiated.

Keywords: Mini Sumo, mobile robots, control systems, Robot Battle, autonomous systems, sensors, microcontrollers, control algorithms.

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій автоматизації та робототехніки особливу увагу привертає галузь мобільних роботів, зокрема роботів класу Mini Sumo, які активно використовуються як у змаганнях, так і в освітніх та дослідницьких цілях. Системи керування цими роботами відіграють ключову роль у забезпеченні їх ефективної, швидкої та адаптивної поведінки в умовах обмеженого простору та високої динамічності, що характерно для арен битви роботів. Дослідження в цій сфері є доцільними та необхідними, оскільки дозволяють розробляти нові підходи до організації автономного руху, підвищувати точність виявлення супротивника, удосконалювати алгоритми ухилення та штовхання, що безпосередньо впливає на результативність змагань. Крім того, розробка ефективних систем керування для роботів Mini Sumo сприяє загальному прогресу в галузі робототехніки, адже в межах цих невеликих платформ відпрацьовуються рішення, що можуть бути масштабовані для складніших і

практично значущих роботизованих систем. Це також відкриває широкі перспективи для навчання молодих інженерів, оскільки проектування та програмування таких роботів вимагає комплексного підходу, що включає елементи механіки, електроніки, сенсорики та програмного забезпечення. Актуальність досліджень у даній галузі підкріплюється не лише високою популярністю змагань, але й потребою в ефективних автономних мобільних системах, які можуть функціонувати в умовах непередбачуваної динаміки, що робить цю тему важливою як у контексті технічного розвитку, так і з погляду практичного застосування отриманих результатів. Загальний вид мобільних роботів класу Mini Sumo приведено на рисунку 1.

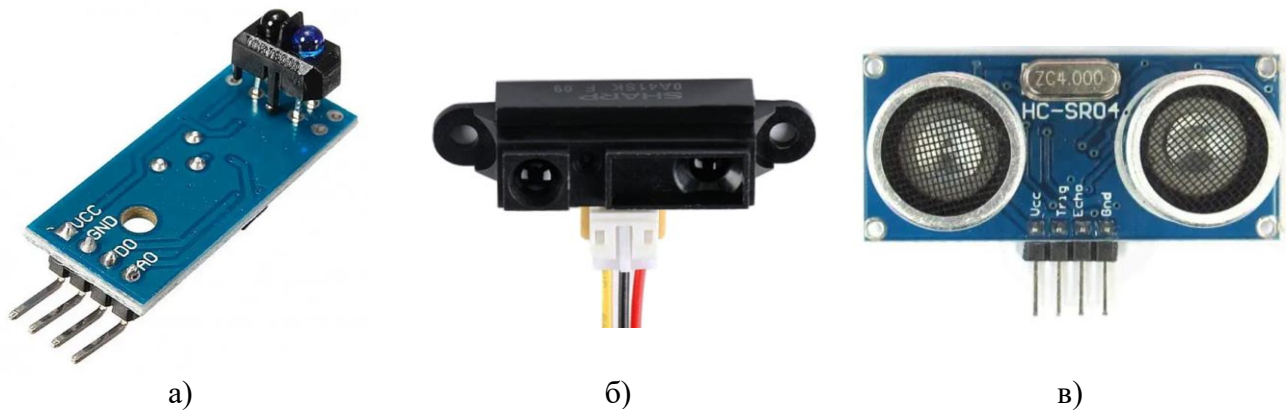


а) Mini Sumobot (500g Prototype) [1];
 б) mini-sumo robot Roku [2];
 в) mini-sumo robot Zumo Robot v1.2. [3]

Рисунок 1 – Загальний вид мобільних роботів класу Mini Sumo для Robot Battle

Системи керування, що використовуються для мобільних роботів класу Mini Sumo, мають низку специфічних особливостей, обумовлених умовами їхнього функціонування в середовищі битв роботів. Головна задача таких систем – забезпечити автономну, швидку та максимально точну реакцію робота на зміну ситуації на арені, виявлення суперника та реалізацію ефективної стратегії його витіснення за межі поля. Система керування повинна бути здатною до обробки даних у реальному часі, зчитуючи інформацію з різноманітних сенсорів, серед яких найважливішими є інфрачервоні або ультразвукові сенсори для виявлення противника, а також оптичні або колірні датчики для розпізнавання меж арені. Швидкість обробки сигналів і прийняття рішень критично важлива, оскільки арена має обмежений розмір, а реакція суперника є непередбачуваною. У багатьох випадках використовуються прості мікроконтролери на зразок Arduino Nano або STM32, які програмуються на виконання базових алгоритмів ухилення, пошуку та атаки, часто із застосуванням логіки на основі порогових значень. Водночас у більш складних рішеннях використовують нечітку логіку, методи машинного навчання або генетичні алгоритми для оптимізації поведінки робота в залежності від особливостей противника та структури арені. Ще однією важливою характеристикою систем керування є забезпечення стабільного та потужного приводу, керованого з високою точністю, оскільки навіть незначна помилка у траєкторії руху може призвести до виходу за межі арені. Алгоритми керування також повинні враховувати розподіл ваги, інерцію, швидкість повороту та зчеплення з поверхнею, що є критичним для досягнення переваги у фізичному протистоянні з іншим роботом. Роботи Mini Sumo, зазвичай, функціонують у повністю автономному режимі, без зовнішнього втручання, тому надійність програмного забезпечення та здатність до адаптації мають першочергове значення. Успішні системи керування поєднують апаратну ефективність, простоту реалізації та здатність до

адаптивної поведінки, що забезпечує конкурентоспроможність робота в умовах високої динамічності битви. В більшості випадках у системі керування використовуються наступні датчики, загальний вид яких приведено на рисунку 2.



а) датчик TCRT5000;
б) датчик Sharp GP2Y0A21YK0F;
в) датчик HC-SR04

Рисунок 2 – Загальний вид датчиків, які використовуються в системах керування мобільними роботами класу Mini Sumo

У системах керування мобільними роботами класу Mini Sumo для змагань Battle of Robots, різні типи сенсорів відіграють ключову роль у забезпеченні автономного функціонування та реалізації стратегій бою. Інфрачервоні датчики, зокрема моделі TCRT5000, зазвичай встановлюються в нижній частині робота та використовуються для розпізнавання кольору поверхні арени. Їх основною задачею є виявлення меж бойового поля, що зазвичай мають білий контур на темному фоні. При виявленні світлої лінії система керування реагує миттєво, змінюючи напрям руху або ініціюючи маневр ухилення, аби не допустити виходу за межі арени, що означає програш. Аналогові інфрачервоні сенсори, такі як Sharp GP2Y0A21YK0F, монтуються на передній або бокових частинах корпусу робота та дозволяють ефективно визначати наявність супротивника на середніх відстанях. Вони здатні оцінювати відстань до об'єкта за принципом зміни відбитого інфрачервоного променя, що дає змогу системі керування приймати рішення про початок атаки, переслідування або зміни позиції. Ці сенсори працюють швидко, з достатньою точністю для змагань, що робить їх незамінними в агресивних тактичних сценаріях. Ультразвукові сенсори, як-от HC-SR04, використовуються для точного вимірювання відстані до об'єкта за допомогою звукових імпульсів. Вони особливо ефективні у відкритому просторі арени, де важливо швидко та надійно виявити напрямок на противника. Дані з ультразвукових сенсорів дозволяють системі керування формувати вірну картину просторового положення опонента, аналізувати його рух та здійснювати відповідні тактичні дії. Спільна робота всіх сенсорів забезпечує збалансовану реакцію робота в бойових умовах: інфрачервоні сенсори гарантують безпеку та утримання в межах арени, а відстаневі сенсори забезпечують агресивну тактику пошуку й атаки. Завдяки об'єднанню даних із кількох сенсорів та реалізації алгоритмів логічного прийняття рішень робот здатен автономно діяти в умовах змінної ситуації, демонструючи високу ефективність і швидкість реакції.

Алгоритми систем керування мобільних роботів класу Mini Sumo для змагань Battle of Robots відзначаються високою швидкістю, адаптивністю та здатністю до автономного прийняття рішень у режимі реального часу. Основна мета таких алгоритмів – виявлення противника та його витіснення за межі арени при одночасному уникненні самотійного виходу

за межі поля. Особливістю алгоритмів є їх орієнтація на обробку інформації з сенсорів із мінімальними затримками, що дозволяє роботам миттєво реагувати на зміну розташування супротивника або наближення до краю арени. Найбільш поширеними підходами є використання логіки на основі порогових значень від сенсорів, де за певного сигналу система миттєво змінює напрям руху, зупиняється або переходить у режим атаки. Деякі алгоритми також реалізують циклічне сканування простору, що дозволяє активніше шукати опонента. У просунутих моделях використовуються адаптивні схеми керування, в яких враховується швидкість, напрямок та траєкторія руху супротивника для прогнозування його дій. Це дозволяє роботу не лише реагувати, а й діяти на випередження, створюючи тактичну перевагу. Успішні алгоритми поєднують простоту реалізації з високою ефективністю, забезпечуючи максимальну продуктивність навіть при обмежених обчислювальних ресурсах мікроконтролера.

Одним із важливих елементів керування мобільним роботом класу Mini Sumo, це ефективності різних підходів до реалізації стратегій виявлення та витіснення супротивника з арени. В таблиці 1 приведено опис існуючих підходів до реалізації стратегій виявлення та витіснення супротивника з арени для мобільних роботів класу Mini Sumo у змаганнях Battle of Robots.

Таблиця 1 – Опис існуючих підходів до реалізації стратегій виявлення та витіснення супротивника з арени для мобільних роботів класу Mini Sumo у змаганнях Battle of Robots

Назва стратегії	Опис логіки роботи
Атака при виявленні	Робот рухається вперед до моменту фіксації супротивника сенсорами, після чого максимально швидко наближається до нього, щоб витіснити. Використовується проста логіка: виявив – атакуй
Циклічний пошук	Робот обертається навколо своєї осі або рухається по дуговій траєкторії в пошуках опонента. При виявленні супротивника – перемикається в режим атаки. Ефективно проти маневрених суперників
Зональне сканування	Арена поділяється на умовні сектори, в кожному з яких робот короткочасно зупиняється для аналізу сенсорної інформації. Використовується для точнішого визначення напрямку супротивника
Тактичне відступлення	Після контакту або наближення до супротивника робот на короткий час відступає або змінює напрям, аби уникнути прямого удару та атакувати з іншого кута. Підвищує шанс уникнення контратак
Бічна атака	Робот орієнтується на обхід супротивника з флангу, намагаючись атакувати під кутом, де вірогідність витіснення вища. Потребує більшої точності в обробці сенсорних даних
Агресивний таран	Робот постійно рухається вперед із максимальною швидкістю, ігноруючи складні маневри. Розраховано на механічну силу та швидкість реакції. Ризик втрати орієнтації при помилкових спрацюваннях сенсорів

Аналіз таблиці 1 показує, що ефективність стратегії залежить від балансу між швидкістю реакції, точністю виявлення супротивника та здатністю до маневрування. Найпростіші стратегії, як атака при виявленні або агресивний таран, забезпечують швидкий результат, але мають високий ризик помилки. Більш складні підходи, як бічна атака чи зональне сканування,

вимагають кращої сенсорної інтеграції та програмної логіки, але забезпечують стабільніший контроль та ефективність у динамічних умовах бою.

ВИСНОВКИ. У результаті проведеного аналізу систем керування мобільних роботів класу Mini Sumo для змагань Battle of Robots можна зробити висновок, що ефективність таких роботів значною мірою визначається рівнем інтеграції сенсорних елементів, вибором алгоритму керування та якістю реалізованої стратегії взаємодії з супротивником. Системи керування повинні забезпечувати високу швидкодію, надійне виявлення противника, точне визначення меж арени та оперативне прийняття рішень у динамічному середовищі бою. Різні стратегії керування демонструють відмінну ефективність в залежності від умов змагання, конфігурації арени та характеру супротивника. Найбільш перспективними вважаються підходи, що комбінують просту логіку реакції на події з адаптивними елементами поведінки, які дозволяють роботам прогнозувати дії супротивника та будувати більш гнучкі тактичні схеми. Важливу роль також відіграє оптимальна взаємодія апаратної та програмної частини, що дозволяє розкрити потенціал навіть простих мікроконтролерів. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшої розробки удосконалених систем керування мобільними роботами, зокрема в напрямку впровадження елементів машинного навчання та розширення сенсорної мережі для підвищення автономності та інтелектуальної поведінки в умовах бою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mini Sumobot (500g Prototype). URL: <https://www.instructables.com/My-Mini-Sumobot-500g-Prototype/> (час доступу 14.04.2025).
2. [Kevin's mini-sumo robot: Roku](https://www.pololu.com/blog/545/kevins-mini-sumo-robot-roku). URL: <https://www.pololu.com/blog/545/kevins-mini-sumo-robot-roku> (час доступу 14.04.2025).
3. [Zumo Robot for Arduino \(Assembled with 75:1 HP Motors\)](https://www.pololu.com/product/2510/). URL: <https://www.pololu.com/product/2510/> (час доступу 14.04.2025).
4. Rybczak, M., Popowniak, N., & Lazarowska, A. (2024). A survey of machine learning approaches for mobile robot control. *Robotics*, 13(1), 12.
5. Al-Kamil, S. J., & Szabolcsi, R. (2024). Optimizing path planning in mobile robot systems using motion capture technology. *Results in Engineering*, 22, 102043.
6. Ullah, I., Adhikari, D., Khan, H., Anwar, M. S., Ahmad, S., & Bai, X. (2024). Mobile robot localization: Current challenges and future prospective. *Computer Science Review*, 53, 100651.
7. Katona, K., Neamah, H. A., & Korondi, P. (2024). Obstacle avoidance and path planning methods for autonomous navigation of mobile robot. *Sensors*, 24(11), 3573.
8. Silaa, M. Y., Bencherif, A., & Barambones, O. (2024, January). Indirect adaptive control using neural network and discrete extended kalman filter for wheeled mobile robot. In *Actuators* (Vol. 13, No. 2, p. 51). MDPI.
9. Zheng, K. (2024, January). Autonomous obstacle avoidance and trajectory planning for mobile robot based on dual-loop trajectory tracking control and improved artificial potential field method. In *Actuators* (Vol. 13, No. 1, p. 37). MDPI.
10. Zhao, L., Nie, Z., Xia, Y., & Li, H. (2024). Virtual-Physical Tracking Control for a Car-Like Mobile Robot Based on Digital Twin Technology. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*.
11. Zhang, J., Yang, X., Wang, W., Guan, J., Liu, W., Wang, H., ... & Lee, V. C. (2024). Cross-entropy-based adaptive fuzzy control for visual tracking of road cracks with unmanned mobile robot. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 39(6), 891-910.

12. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Yevsieiev, V., Lyashenko, V., Nevliudov, I., & Luhach, A. K. (2022). Zoomorphic mobile robot development for vertical movement based on the geometrical family caterpillar. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 3046116.
13. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
14. Attar, H., Abu-Jassar, A. T., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Khosravi, M. R. (2022). Control system development and implementation of a CNC laser engraver for environmental use with remote imaging. *Computational intelligence and neuroscience*, 2022(1), 9140156.
15. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Baker, J. H., Ahmad, M. A., & Lyashenko, V. (2020). Development of a cyber design modeling declarative Language for cyber physical production systems. *J. Math. Comput. Sci.*, 11(1), 520-542.
16. Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // Sectoral research XXI: characteristics and features: collection of scientific papers "SCIENTIA" with proceedings of the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. - Chicago: European Scientific Platform, 2023. - P. 92-94.
17. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2025). Development and Investigation of Vision System for a Small-Sized Mobile Humanoid Robot in a Smart Environment. *International Journal of Crowd Science*, 9(1), 29-43.
18. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2023, September). Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors. In *2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED)* (Vol. 1, pp. 247-251). IEEE.
19. Abu-Jassar, A. T., Attar, H., Amer, A., Lyashenko, V., Yevsieiev, V., & Solyman, A. (2024). Remote Monitoring System of Patient Status in Social IoT Environments Using Amazon Web Services (AWS) Technologies and Smart Health Care. *International Journal of Crowd Science*, 8.
20. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Calculation of the Distance to Objects in Collaborative Robots Workspace Using Computer Vision. *Journal of universal science research*, 2(11), 240-255.
21. Yevsieiev, V., Maksymova, S., Gurin, D., & Alkhalailah, A. (2024). Data Fusion Research for Collaborative Robots-Manipulators within Industry 5.0. *ACUMEN: International journal of multidisciplinary research*, 1(4), 125-137.
22. Yevsieiev, V., Alkhalailah, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Research of Existing Methods of Representing a Collaborative Robot-Manipulator Environment within the Framework of Cyber-Physical Production Systems. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 112-120.
23. Yevsieiev, V., Abu-Jassar, A., Maksymova, S., & Gurin, D. (2024). Human Operator Identification in a Collaborative Robot Workspace within the Industry 5.0 Concept. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 95-105.

Науковий керівник: Гурін Дмитро Валерійович, старший викладач кафедри КІТАР Харківського Національного Університету Радіоелектроніки