

Деркач М.В., Матюк Д.С.

## РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ УПРАВЛІННЯ РУХОМ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

*У статті розглянута найважливіша задача в області навігації мобільних роботів – управління рухом, а саме задача розробки алгоритму управління рухом мобільного робота, оснащеного мікроконтролером та чотирма ультразвуковими датчиками. Принцип дії ультразвукових датчиків, які є дуже затребувані в робототехнічних проектах через свою відносну простоту, достатню точність та доступність, полягає в тому, що вимірюється відстань до предмету або виявляється перешкода на шляху руху робота за допомогою ультразвукових хвиль. У роботі наведено основні методи управління рухом та компоненти, які використані при розробці мобільного робота. Також наведено математичне обґрунтування й алгоритм управління руху, що базується на розташуванні мобільного робота. Алгоритм передбачає, що рух робота складається з прямолінійних відрізків окремо від розворотів на місці. При цьому мобільний робот прагне звести до мінімуму загальну подолану відстань, так що завжди відразу повертається передньою частиною до наступної точки та їде прямо до неї. Тобто розроблений алгоритм полягає у тому, що спочатку сканується довкілля для визначення наявності перешкод на шляху проходження мобільного робота. Після знаходження шляху, на якому відсутні перешкоди, мобільний робот робить розворот і починає рухатися вперед до тих пір, поки не зустрінеться з новою перешкодою. Згідно розробленого алгоритму було проведено тестування управління рухом мобільного робота, під час якого були взяті показання ультразвукових датчиків руху мобільного робота. Отримані результати підтверджують прийнятність алгоритму, здатного автоматизувати пересування робота, який є головним кроком на шляху до створення повністю автономних і багатофункціональних роботів.*

**Ключові слова:** мобільний робот, алгоритм, ультразвуковий датчик, мікроконтролер, перешкода, управління, рух.

**Вступ.** В останні роки великий інтерес для дослідників представляють автономні мобільні роботи. Спектр вирішуваних завдань при цьому виявляється дуже широким: від ігрових завдань до спеціальних завдань забезпечення безпеки. Крім теоретичного все більше практичного значення в різних областях техніки набуває задача управління рухом мобільних колісних роботів.

Завдання створення роботів, здатних переміщатися без допомоги людини, уникаючи зіткнення з перешкодами, тобто здійснення автономного руху, складається в основному з трьох задач. По-перше, спланований шлях повинен пролягати від точки А в точку В. По-друге, цей шлях повинен забезпечувати рух робота з обходом можливих перешкод. По-третє, шлях повинен серед всіх можливих шляхів, які відповідають першим двом вимогам, бути в певному сенсі оптимальним.

Основними методами управління рухом вважаються:

- методи на основі графів;
- методи на основі клітинної декомпозиції;
- методи потенційних полів [1];
- оптимізаційні методи;
- методи на інтелектуальних алгоритмах [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автори роботи [3] зосереджені на внутрішній системі локалізації робота на основі ультразвуку. Запропоноване рішення - це вимірювання положення роботів, обчислених за допомогою формул триангуляції.

Алгоритм, розроблений в роботі [4], дозволяє визначати положення роботів у кожний момент часу, використовуючи положення орієнтирів. Алгоритм враховує асинхронні кроки часу та розрізнені дані вимірювань для розробки його оцінок.

Система оцінки координат автоматизованих керованих транспортних засобів обговорюється в роботі [5]. Для вимірювання відстані застосовували ультразвукові хвилі. Система була протестована на колісному мобільному роботі в середовищі моделі 2D.

Автори роботи [6] запровадили новий підхід до навігації наземних транспортних засобів за допомогою дуже дешевого ультразвукового датчику та розширеного фільтру Калмана, що зменшило середню квадратичну помилку.

Існує багато інших цікавих алгоритмів уникнення перешкод. Деякі з них підходять для роботи у режимі реального часу, серед них підходи, засновані на нечіткій логіці [7], зоровій навігації [8-9] тощо. Однак більшість алгоритмів навігації роботів покладаються на важкі та енергоємні датчики. Як наслідок, цим роботам потрібні потужні обчислювальні одиниці для встановлення на борту.

**Мега статті.** Розробити алгоритм управління рухом мобільного робота, оснащеного мікроконтролером та чотирма ультразвуковими датчиками.

**Основний зміст роботи.** Мобільний робот - автоматична машина, яка передбачає наявність рухомого шасі з керованими приводами. Для забезпечення змістовної поведінки і виконання функціональної роботи за

допомогою своїх "інтелектуальних" можливостей, робот оснащений ультразвуковими датчиками, які дозволяють сприймати навколишнє середовище й орієнтуватися в ньому. Принцип дії ультразвукових датчиків полягає в тому, що вимірюється відстань до предмету або виявляється перешкода на шляху руху робота за допомогою ультразвукових хвиль. На платі модуля є п'єзо-ультразвуковий передавач та мікрофон, який відчуває хвилю, яка відбивається перешкодою.

Таблиця 1

**Компоненти мобільного робота**

32-бітовий мікроконтролер виробництва STMicroelectronics	
Ультразвукові датчики відстані безконтактного типу HC-SR04	
Драйвери двигунів L9110S	
Макетна плата та двигуни	

Визначається наявність предметів та відстань до них, спочатку надсилаючи ультразвуковий промінь, а потім отримуючи його із затримкою відбиття. Ультразвукові сигнали, що генеруються приймачем на частоті 40 кГц, відбиваються від перешкоди і повертаються до неї через певний проміжок часу. Саме цей часовий проміжок стає характеристикою, яка допомагає визначити відстань до перешкоди.

$$d = (t * V) / 2, \tag{1}$$

де  $d$  - відстань в метрах,  $t$  - час ехо-імпульсу в секундах,  $V = 340$  м / с - швидкість ультразвуку.

На відміну від інфрачервоних далекомірів на ультразвуковий датчик HC-SR04 не впливають джерела світла або колір перешкоди. Датчик відстані є приладом безконтактного типу, і забезпечує високоточне вимірювання і стабільність. Діапазон дальності його вимірювання складає від 0 до 150 см, точність досягає 3 мм. Швидкість звуку в повітрі залежить від температури. Це впливає на точність датчика.

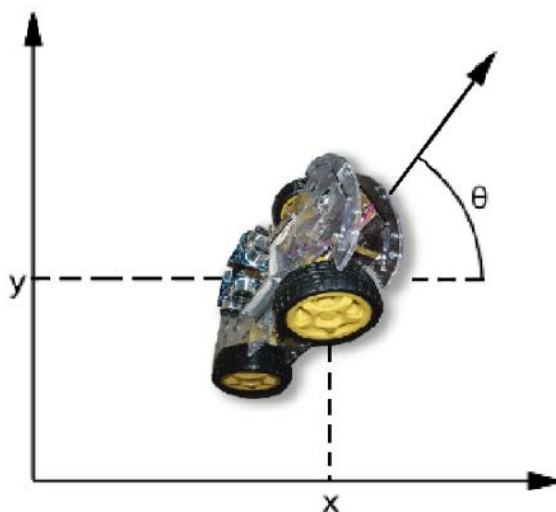


Рис. 1. Управління руху, ґрунтуючись на розташуванні мобільного робота

Управління руху ґрунтується на розташування мобільного робота, і як воно відноситься до світової системи координат, що дозволить йому рухатися по точному шляху вздовж послідовності заздалегідь певних точок (рис. 1).

Рух робота складається з прямолінійних відрізків окремо від розворотів на місці. Мобільний робот прагне звести до мінімуму загальну подолану відстань, так що завжди відразу повертається передньою частиною до наступної точки та їде прямо до неї.

На першому кроці управління руху, припустимо, що поточний стан мобільного робота  $(x, y, \theta)$  і наступної точкою є  $(W_x, W_y)$ . Спочатку робот повинен повернутися до зазначеної точки. Вектор спрямування повинен вказувати на:

$$\begin{pmatrix} d_x \\ d_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} W_x - x \\ W_y - y \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Абсолютне значення кута в градусах  $\alpha$ , до якого мобільний робот повинен повернутися:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{d_y}{d_x}. \quad (3)$$

Необхідно переконатися, що  $\alpha$  знаходиться в правильному квадранті  $-\pi < \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ . Робот уже повернутий на певний кут, тому кут на який він повинен повернутися  $\beta = \alpha - \theta$ . Щоб робот рухався найбільш ефективно, потрібно змістити кут, додавши або віднімаючи  $2\pi$ , щоб  $-\pi < \beta \leq \pi$ . Після цього, мобільний робот повинен рухатися по прямій на відстань:

$$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}. \quad (4)$$

Тобто, алгоритм управління рухом мобільного робота (рис. 2) полягає в тому, що робот сканує навколишнє середовище для визначення наявності перешкод на шляху.

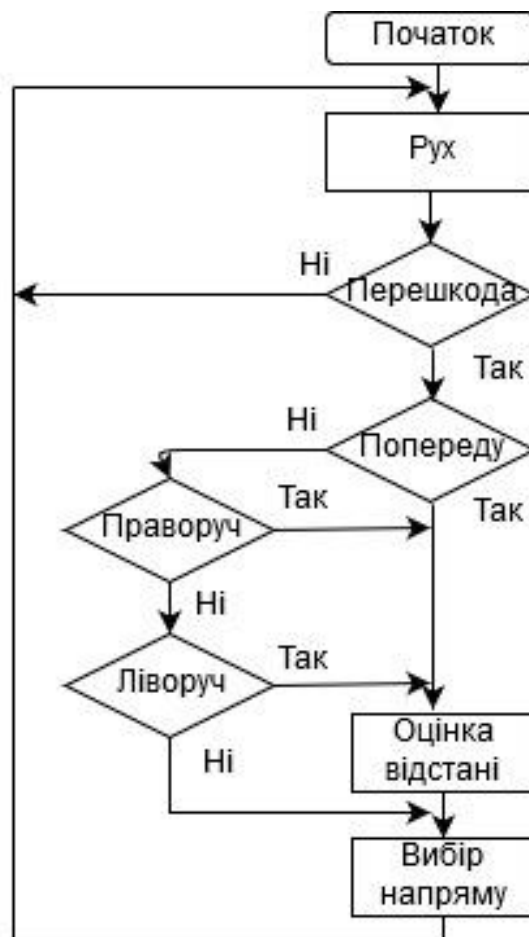


Рис. 2. Алгоритм управління рухом мобільного робота

Після знаходження шляху, на якому відсутні перешкоди, мобільний робот при русі електромоторів в різних напрямках робить розворот і починає рухатися вперед до тих пір, поки не зустрінеться з новою перешкодою.

Згідно розробленого алгоритму було проведено тестування управління рухом мобільного робота, під час якого були взяті показання ультразвукових датчиків руху мобільного робота (рис. 3).

На діаграмі точки мінімуму відповідають максимальному наближенню мобільного робота до перешкоди, після чого здійснюється поворот до безпечного напрямку та рух на безпечну відстань.

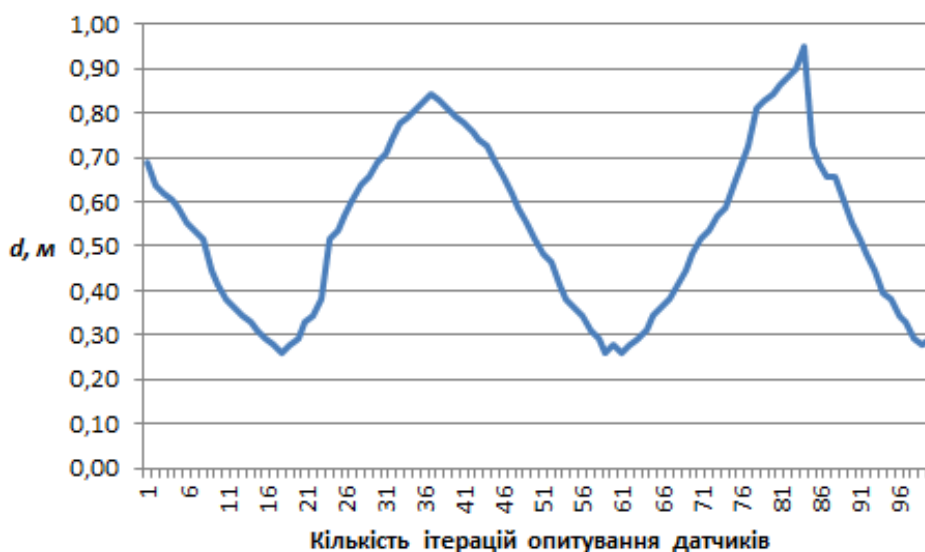


Рис. 3. Тестування алгоритму управління рухом мобільного робота

**Висновок.** В результаті було розроблено мобільний робот з ультразвуковими датчиками відстані, який користується великою популярністю в робототехнічних проектах завдяки своїй відносній простоті, достатній точності та доступності. Розроблено алгоритм управління руху, що базується на розташуванні мобільного робота. Результати, отримані завдяки тестуванню розробленого алгоритму, підтверджують прийнятність алгоритму, здатного автоматизувати пересування мобільного робота, який є головним кроком на шляху до створення повністю автономних і багатофункціональних роботів.

#### Література

1. Alvarez D. 3D robot formations path planning with fast marching square / D. Alvarez, J.V. Gomez, S. Garrido, L. Moreno // *J. of Intelligent and Robotic Systems*. – 2015. Vol. – 80, No. 3-4. – pp. 507–523.
2. Ma J.-C. Multi-behavior fusion-based path planning for mobile robot / J.-C. Ma, Q. Zhang, L.-Y. Ma, W. Xie // *Beijing Ligong Daxue Xuebao // Trans. of Beijing Inst. of Technology*. – 2014. – Vol. 34, No. 6. – pp. 576–581.
3. Nagy C. Ultrasound-Based Indoor Robot Localization Using Ambient Temperature Compensation / C. Nagy, Z. Biró-Ambrus, L. Márton // *Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering*. – Vol. 8. – 2016. – pp. 19-28.
4. Petrovski K. On the Kalman Filter Approach for Localization of Mobile Robots / K. Petrovski, S. Jovanovski, M. Mirchev, L. Basnarkov // *International Conference on ICT Innovations*. – 2016. – pp. 123-133.
5. Stączek P. Digital signal processing in ultrasonic based navigation system for mobile robots / P. Stączek // *ITM Web of Conferences*. – Vol. 15. – 2017.
6. Moussa M. Ultrasonic based heading estimation for aiding land vehicle navigation in GNSS denied environment / M. Moussa, A. Moussa, N. El-Sheimy // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – Vol. XLII-1. – 2018. – pp. 315-322.
7. Kondratenko Y. A simulation model for robot's slip displacement sensors / Y. Kondratenko, O. Gerasin, A. Topalov // *International Journal of Computing*. – Vol.15, Issue 4. – 2016. – pp. 224-236.
8. Li S.E. Kalman filter-based tracking of moving objects using linear ultrasonic sensor array for road vehicles / S.E. Li, G. Li, J. Yu, C. Liu, B. Cheng, J. Wang, K. Li // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – Vol. 98. – 2018. – pp. 173-189.
9. Keke G. A fuzzy controller: Using monocular computer vision to see and avoid obstacle for quadcopter / G. Keke, L. Wei, T. Liguó // *5th intern. workshop on computer science and engineering: Information processing and control engineering: WCSE 2015-IPSE: Proc. Chenghu: Science and Engineering Inst.* – 2015.

#### References

1. Alvarez D. 3D robot formations path planning with fast marching square / D. Alvarez, J.V. Gomez, S. Garrido, L. Moreno // *J. of Intelligent and Robotic Systems*. – 2015. Vol. – 80, No. 3-4. – pp. 507–523.
2. Ma J.-C. Multi-behavior fusion-based path planning for mobile robot / J.-C. Ma, Q. Zhang, L.-Y. Ma, W. Xie // *Beijing Ligong Daxue Xuebao // Trans. of Beijing Inst. of Technology*. – 2014. – Vol. 34, No. 6. – pp. 576–581.
3. Nagy C. Ultrasound-Based Indoor Robot Localization Using Ambient Temperature Compensation / C. Nagy, Z. Biró-Ambrus, L. Márton // *Acta Universitatis Sapientiae Electrical and Mechanical Engineering*. – Vol. 8. – 2016. – pp. 19-28.

4. Petrovski K. On the Kalman Filter Approach for Localization of Mobile Robots / K. Petrovski, S. Jovanovski, M. Mirchev, L. Basnarkov // International Conference on ICT Innovations. – 2016. – pp. 123-133.
5. Stączek P. Digital signal processing in ultrasonic based navigation system for mobile robots / P. Stączek // ITM Web of Conferences. – Vol. 15. – 2017.
6. Moussa M. Ultrasonic based heading estimation for aiding land vehicle navigation in GNSS denied environment / M. Moussa, A. Moussa, N. El-Sheimy // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Vol. XLII-1. – 2018. – pp. 315-322.
7. Kondratenko Y. A simulation model for robot's slip displacement sensors / Y. Kondratenko, O. Gerasin, A. Topalov // International Journal of Computing. – Vol.15, Issue 4. – 2016. – pp. 224-236.
8. Li S.E. Kalman filter-based tracking of moving objects using linear ultrasonic sensor array for road vehicles / S.E. Li, G. Li, J. Yu, C. Liu, B. Cheng, J. Wang, K. Li // Mechanical Systems and Signal Processing. – Vol. 98. – 2018. – pp. 173-189.
9. Keke G. A fuzzy controller: Using monocular computer vision to see and avoid obstacle for quadcopter / G. Keke, L. Wei, T. Ligu // 5th intern. workshop on computer science and engineering: Information processing and control engineering: WCSE 2015-IPSE: Proc. Chenghu: Science and Engineering Inst. – 2015.

The article examined the most important task in the field of navigation of mobile robots - traffic control. This is the task of developing a motion control algorithm for a mobile robot that is equipped with a microcontroller and four ultrasonic sensors. The principle of operation of ultrasonic sensors is that the distance to the object is measured or the presence of an obstacle in the way of movement of the robot using ultrasonic waves is determined. Ultrasonic sensors are very popular in robotic projects because of their relative simplicity, sufficient accuracy and availability. The basic methods of motion control and the components that were used in the development of a mobile robot were presented in the work. The mathematical justification and motion control algorithm, which is based on the location of the mobile robot, are also given. The algorithm provides that the work movement consists of straight sections separately from turns in place. At the same time, the mobile robot seeks to minimize the total distance traveled, so that it always immediately turns its front to the next point and goes straight to it. That is, the developed algorithm is that the environment is first scanned to determine if there are obstacles in the path of the mobile robot. After finding a path on which there are no obstacles, the mobile robot makes a U-turn and starts moving forward until it encounters a new obstacle. According to the developed algorithm, we tested the motion control of a mobile robot, during which the readings of ultrasonic motion sensors of a mobile robot were taken. The obtained results confirm the acceptability of an algorithm capable of automating the movement of the robot, which is the main step towards creating fully autonomous and multifunctional robots.

**Keywords:** mobile robot, algorithm, ultrasonic sensor, microcontroller, obstacle, control, movement.

В статье рассмотрена важнейшая задача в области навигации мобильных роботов - управление движением, а именно задача разработки алгоритма управления движением мобильного робота, оснащенного микроконтроллером и четырьмя ультразвуковыми датчиками. Принцип действия ультразвуковых датчиков, которые очень востребованы в робототехнических проектах из-за своей относительной простоты, достаточной точности и доступности, заключается в том, что измеряется расстояние до предмета или определяется наличие препятствия на пути движения робота с помощью ультразвуковых волн. В работе приведены основные методы управления движением и компоненты, использованные при разработке мобильного робота. Также приведены математическое обоснование и алгоритм управления движением, основанный на расположении мобильного робота. Алгоритм предусматривает, что движение робота состоит из прямолинейных отрезков отдельно от разворотов на месте. При этом мобильный робот стремится свести к минимуму общее преодоленное расстояние, так что всегда сразу поворачивается передней частью к следующей точке и едет прямо к ней. То есть, разработанный алгоритм заключается в том, что сначала сканируется окружающая среда для определения наличия препятствий на пути прохождения мобильного робота. После нахождения пути, на котором отсутствуют препятствия, мобильный робот делает разворот и начинает двигаться вперед до тех пор, пока не встретится с новым препятствием. Согласно разработанному алгоритму было проведено тестирование управления движением мобильного робота, во время которого были взяты показания ультразвуковых датчиков движения мобильного робота. Полученные результаты подтверждают приемлемость алгоритма, способного автоматизировать передвижения робота, что является главным шагом на пути к созданию полностью автономных и многофункциональных роботов.

**Ключевые слова:** мобильный робот, алгоритм, ультразвуковой датчик, микроконтроллер, препятствие, управление, движение.

**Деркач М.В.** – к.т.н., старший викладач кафедри комп'ютерних наук та інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: [gl459@gmail.com](mailto:gl459@gmail.com)

**Матюк Д.С.** – здобувач вищої освіти Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: [terryfenderyy@gmail.com](mailto:terryfenderyy@gmail.com)