

УДК 621.39

Розроблення системи керування роботизованою платформою з ультразвуковим радаром HC-SR04

Могильний С. Б., Цимбал В. О.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”, м. Київ, Україна

E-mail: isearch@ukr.net

Виконані дослідження точності вимірювання реальної відстані до об’єкту та для 3-х кутів повороту ультразвукового модуля. На основі отриманих даних запропонований алгоритм для зміни руху платформи з метою огинання перешкоди.

Ключові слова: ультразвуковий радар; HC-SR04; огинання перешкод; роботизована платформа

Вступ

Модуль ультразвукового радара HC-SR04 (рис. 1) є найпоширенішим елементом різноманітних конструкцій роботизованих платформ і дозволяє при мінімальних затратах відпрацювати алгоритми автоматичного руху. Наведені в описах діаграми випромінювання модуля або надто спрощені [1], або чисто експериментальні [2], що не дозволяє використати їх в алгоритмах керування. В [3] при визначенні відстані до перешкоди використовуються два спрямовані вперед модулі, що виявляють перешкоду лише перед платформою. В роботі [4] використовуються два рознесені на певну відстань модулі, що дозволило розглянути лише чотири можливі варіанти виявлення відбитих від перешкоди сигналів. У методиці визначення відстані до об’єкту за допомогою 3-х модулів HC-SR04 [5] вибрані значення кутів вимірювання обумовлені розмірами HC-SR04, а не технічними параметрами модуля. В [6] модуль повертається на різний кут і, при виявленні перешкоди, фіксується значення кута, яке використовується для повороту іншої антени в напрямку виявленої перешкоди для більш точної її ідентифікації. В документації [7] діапазон вимірюваних відстаней 2-400 см наведений без вказаної точності вимірювання відстані, що не дозволяє використати деякі алгоритми визначення типу перешкоди, а в роботі [8] зазначається, що на точність визначення відстані впливає кут відбиття сигналу від перешкоди. Алгоритм уникнення зіткнення з фронтальною перешкодою, згідно якого відбувається зменшення швидкості та зміна напрямку руху на протилежний, розглядається в [9]. Зазначені обмеження вимагають більш детального дослідження параметрів HC-SR04 з метою подальшого їх

використання для реалізації алгоритму огинання перешкоди.



Рис. 1. Модуль ультразвукового радара

1 Дослідження точності вимірювання відстані

Для розроблення алгоритму огинання перешкоди важливо знати неоднозначність вимірювання відстані до неї, яка в загальному випадку описується формулою [10]: $D = \frac{VT}{2}$, де D — відстань від перешкоди; V — швидкість звуку; T — вимірний проміжок часу від сигналу запуску до отримання відгуку. Зауважимо, що швидкість звуку в повітрі змінюється залежно від температури таким чином [10]: $V = 331,4 + 0,62t$, де t — температура, виміряна в °C, а швидкість — в м/с. У платформі можна використати цифровий сенсор температури DS18B20 і виміряне значення автоматично підставляти у наведену формулу. Для визначення точності вимірювання нами виконані дослідження 7 модулів HC-SR04. Відхилення реальної відстані, визначеної за допомогою метричних вимірювань, та вимірної, визначеної радаром, наведені на (рис. 2). Оброблення отриманих даних показало, що, при надійності визначення похибки вимірювання (0,99) і числі проведених прямих вимірів понад 200, знаходимо, що

коефіцієнт Стюдента рівний 2,617 [11] і розрахована похибка вимірювання не перевищує 2%. Отриманий результат буде використаний для визначення типу перешкоди. При відстанях, менших за 5 см, похибка суттєво збільшується.

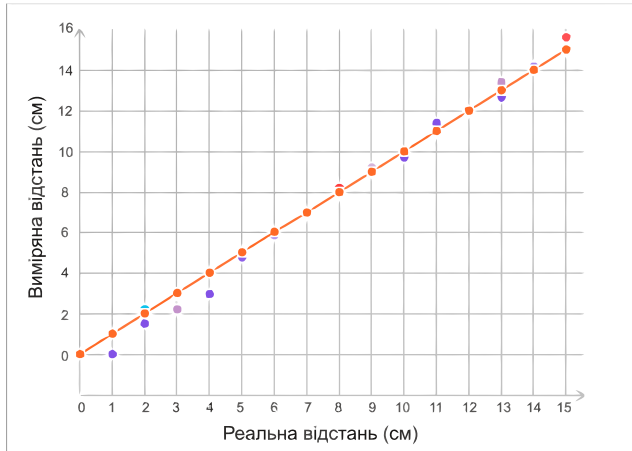


Рис. 2. Графік розбіжності вимірної і реальної відстаней до перешкоди

2 Визначення допустимого кута повороту платформи і типу перешкоди

Для визначення типу перешкоди, а також визначення допустимого кута повороту платформи радара ліворуч/праворуч при вимірюванні відстані до перешкоди, скористаємося методом виміру відстані до перешкоди при 3-х кутах випромінювання (далі, 3-х кутовий метод) (рис. 3).

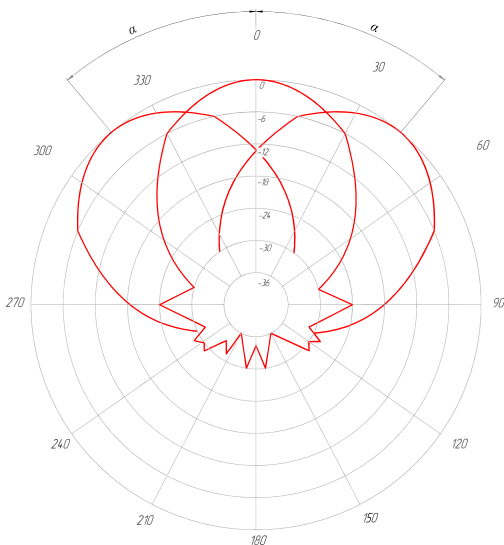


Рис. 3. Положення діаграм спрямованості для 3-х кутового методу вимірювання відстані

Щоб не обмежувати вибір кута випромінювання радара розмірами модуля HC-SR04, використаємо лише один модуль, закріпивши його на серводвигуні. Сигнали керування серводвигуном задають кут

повороту модуля. Найбільш поширеною є перешкода типу «стіна»: чи то стіна в приміщенні, чи то зовнішня стіна будівлі. При визначенні перешкоди 3-х кутовим методом значну роль відіграє значення кута повороту радара для проведення бічних вимірів. На вибір кута повороту впливає не лише діаграма спрямованості радара, а й чутливість його приймача, коефіцієнт відбиття від перешкоди та її форма. Для перешкоди типу «стіна» нами були проведені експериментальні дослідження (рис. 4), які показали, що, якщо кут повороту більший 40° при відстанях до перешкоди не менше 40 см, відгук не фіксується. При відстанях менше 30 см кут повороту радара не повинен перевищувати 30°. Враховуючи ці значення, вибираємо кут повороту радара α для бічних вимірів (рис. 5), щоб отримати дані відстані до перешкоди типу «стіна» за 3-х кутовим методом.

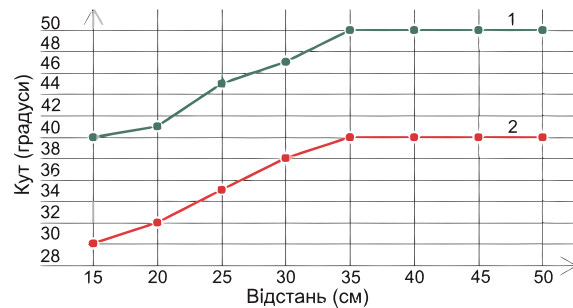


Рис. 4. Залежність максимального кута повороту радара від відстані до перешкоди (1-поворот праворуч; 2-поворот ліворуч)

Розглянемо загальний випадок ідентифікації типу перешкоди. Перевіримо, чи належить перешкода до типу «стіна» (рис. 5), враховуючи, що кут вимірювання встановлюється поворотом серводвигуна. Для цього знаходимо за допомогою радара відстані до точок M і R або M і L та за формулою (1) розраховуємо відстань до третьої точки (L або R). Оскільки радар отримує значення відстані до всіх точок L, M, R, порівнюємо обчислене і вимірне значення. Якщо різниця не перевищує знайденої раніше похибки (2%), приймається рішення про наявність перешкоди типу «стіна».

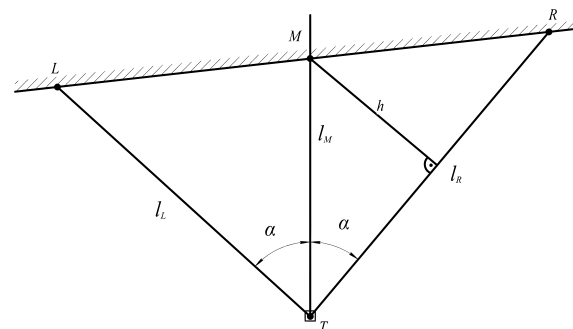


Рис. 5. Геометрична інтерпретація для визначення перешкоди типу «стіна»

$$l_L = \frac{l_M l_R}{2l_R \cos \alpha - l_M} \quad (1)$$

3 Опис алгоритму реалізації огинання перешкоди

Враховуючи наведені вище допущення та розрахунки, розглянемо алгоритм огинання перешкод різного типу. Для перешкоди типу «стіна» очевидним є спосіб огинання паралельно (вздовж) перешкоди. Щоб знайти кут повороту платформи для реалізації такого алгоритму, розглянемо відстані до точок M і R або M і L, залежно від того, яка відстань буде меншою: до L чи до R. Розглядаючи розміщення точок M і L відносно платформи P (рис. 6), отримуємо формулу (2) для розрахунку кута її повороту.

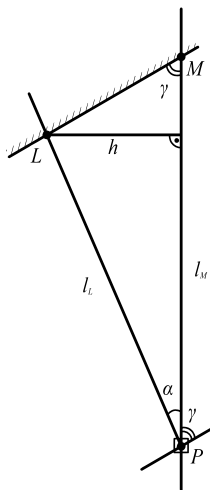


Рис. 6. Побудови для визначення кута повороту платформи

$$\gamma = \arctg \frac{l_L \sin \alpha}{l_M - l_L \cos \alpha} \quad (2)$$

Залежно від отриманих значень сигналу відстані до перешкоди (+) чи відсутності такого сигналу (-) можливі різні способи огинання перешкоди (табл. 1).

4 Вибір алгоритму огинання для різних перешкод

Якщо точки лежать на прямій – це перешкода типу «стіна» (рис. 7). У цьому випадку необхідно визначити кут для руху вздовж «стіни» в сторону більшої відстані (L або R).

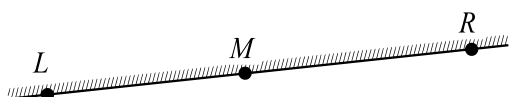


Рис. 7. Модель перешкоди типу «стіна»

Табл. 1 Рух платформи залежно від наявності сигналу радара

L	M	R	Опис алгоритму огинання перешкоди
-	-	-	Перешкоди немає: платформа їде вперед
-	-	+	Перешкода праворуч: поворот ліворуч
-	+	-	Перешкода малих розмірів: можливе огинання ліворуч, праворуч, рух назад
-	+	+	Ліворуч перешкоди немає: визначаємо кут повороту ліворуч за точками M та R
+	-	-	Перешкода ліворуч: поворот праворуч
+	-	+	Залежно від відстані до L та R визначаємо ймовірність подальшого руху вперед: якщо рух вперед неможливий (вузький проміжок між перешкодами) – рух назад
+	+	-	Праворуч перешкоди немає: визначаємо кут повороту праворуч за точками L та M
+	+	+	Визначаємо за відстанню до точок L, M, R, чи лежать вони на одній лінії (перешкода типу «стіна»), і на основі цього розраховуємо оптимальний кут повороту платформи для огинання перешкоди (рис. 7-9)

Якщо розрахована координата третьої точки X знаходиться ближче за виміряну – перешкода типу «увігнута дуга» (рис. 8). Платформу слід повернути в сторону більшої відстані (L або R).

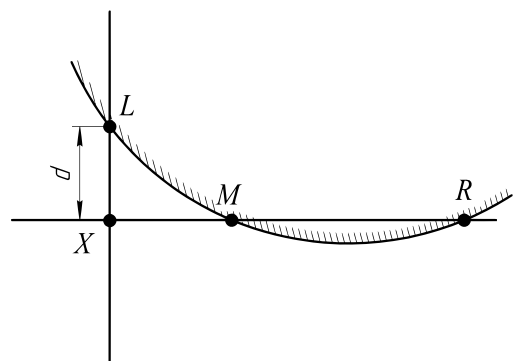


Рис. 8. Модель перешкоди типу «увігнута дуга»

Якщо розрахована координата третьої точки X знаходиться далі від виміряної – перешкода типу «випукла дуга» (рис. 9). Платформа повинна від'їхати назад на певну відстань і повернути праворуч або ліворуч, щоб зробити наступні виміри для вибору алгоритму огинання перешкоди.

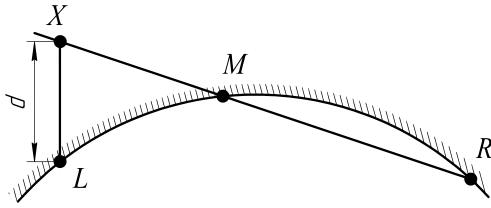


Рис. 9. Модель перешкоди типу «випукла дуга»

Висновки

Визначена мінімальна відстань до перешкоди, при якій похибка вимірювання не перевищує 2%. Враховуючи дану невизначеність вимірювання, запропонований алгоритм ідентифікації перешкод типу «стіна» та інших. Для 3-х кутового методу вимірювання відстані до перешкоди знайдений допустимий кут повороту радару для бічних вимірів з урахуванням його діаграми спрямованості, розміщення відносно передавача тощо. Зроблені дослідження дозволили реалізувати алгоритм огинання перешкоди за допомогою ультразвукового модуля HC-SR04. Отримані закономірності можуть бути застосовані для інших типів радарів (наприклад, інфрачервоних) в системах автоматичного керування роботизованими платформами та автомобілями.

Перелік посилань

1. Ultrasonic Rangers. — Режим доступу: https://robot-electronics.co.uk/htm/sonar_faq.htm
2. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. — Режим доступу: https://www.itead.cc/wiki/Ultrasonic_Ranging_Module_HC-SR04
3. Черных А. А. Обход препятствий платформой на AVR микроконтроллере (Arduino UNO) с использованием ультразвуковых датчиков / А.А. Черных // Технологии Microsoft в теории и практике программирования ; X Всероссийская науч.-практ. конф. — 2013. — Томск, НИ ТПУ. — с. 25-27.
4. Нурсейтов Д.Б. Обзор алгоритмов обхода препятствий, используемых в робототехнике / Д.Б. Нурсейтов, И.А. Угай, Р.И. Бармашев, Д.Л. Заурбеков ; Национальная научная лаборатория коллективного пользования информационных и космических технологий Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева. — 2014. — с.11-12.
5. HC-SR04: using multiple ultrasonic modules. — Режим доступу: <https://macduino.blogspot.com/2013/11/hc-sr04-using-multiple-ultrasonic.html>
6. Kar R. Object Detection for Collision Avoidance in ITS / R. Kar, S. N. Sur // European Journal of Advances in Engineering and Technology. — 2016. — Vol. 3, No 5. — pp. 29-35.
7. Ultrasonic ranging module HC-SR04. — Режим доступу: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
8. Юлдашев М.Н. Ультразвуковые системы для определения пространственного положения подвижного объекта / М.Н. Юлдашев // Сборник научных трудов.

17-ая молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2015". — М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 22-23 апреля 2015 г. — с. 465-472.

9. Богдановський М. В. Лабораторний стенд дослідження колісної мобільної платформи із детектором фронтальної перепони на базі Arduino UNO / М.В. Богдановський, Д.Г. Курасов, Я.В. Михайлюк // Інформаційно-комп'ютерні технології. — 2016. — Житомир, ЖДТУ. — с. 123.
10. HC-SR04: ultrasonic sensor for Arduino. — Режим доступу: <https://macduino.blogspot.com/2013/11/HC-SR04-part1.html>
11. Обработка результатов прямого измерения. — Режим доступу: http://teachmen.ru/methods/phys_prac6.php

References

- [1] *Ultrasonic Rangers*. Available at: https://robot-electronics.co.uk/htm/sonar_faq.htm
- [2] *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04*. Available at: https://www.itead.cc/wiki/Ultrasonic_Ranging_Module_HC-SR04
- [3] Chernykh A. A. (2013) Obkhod prepyatstvii platformoi na AVR mikrokontrollere (Arduino UNO) s ispol'zovaniem ul'trazvukovykh datchikov [Bypassing obstacles by a platform with an AVR microcontroller (Arduino UNO) using ultrasonic sensors]. *Tekhnologii Microsoft v teorii i praktike programmirovaniya*, Tomsk, NI TPU, pp. 25-27.
- [4] Nurseitov D.B., Ugai I.A., Barmashev R.I. and Zaurbekov D.L. (2014) *Obzor algoritmov obkhoda prepyatstvii, ispol'zuemykh v robototekhnike* [Overview obstacle avoidance algorithms used in robotics]. *Kazakhskii natsional'nyi tekhnicheskii universitet imeni K.I. Satpaeva*, pp. 11-12.
- [5] *HC-SR04: using multiple ultrasonic modules*. Available at: <https://macduino.blogspot.com/2013/11/hc-sr04-using-multiple-ultrasonic.html>
- [6] Kar R. and Sur S.N. (2016) Object Detection for Collision Avoidance in ITS. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, Vol. 3, No 5, p. 29-35.
- [7] Ultrasonic ranging module HC - SR04. Available at: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
- [8] Yuldashev M. N. (2015) Ultrasonic system for determining the spatial position of the mobile object. *Naukiemkie tekhnologii i intellektual'nye sistemy*, Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, pp. 465-472.
- [9] Bohdanovskiy M. V., Kurasov D.H. and Mykhailiuk Ya.V. (2016) Laboratornyi stend doslidzhennia kolisnoi mobilnoi platformy iz detektorom frontalnoi perepony na bazi Arduino UNO [Laboratory model research wheeled mobile platform in front of the detector obstacles based on Arduino UNO]. *Informatsiino-komp'iuterni tekhnologii*, Zhytomyr, ZhDTU, pp. 123.
- [10] *HC-SR04: ultrasonic sensor for Arduino*. Available at: <https://macduino.blogspot.com/2013/11/HC-SR04-part1.html>
- [11] *Obработка rezultatov pryamogo izmereniya*. Available at: http://teachmen.ru/methods/phys_prac6.php

Разработка системы управления роботизированной платформой с ультразвуковым радаром HC-SR04

Могильный С. Б., Цымбал В. О.

Выполнены исследования точности измерения расстояния до объекта. Показано, что для расстояний 4-150 см неопределенность значения расстояния не превышает 2%. Предложено метод идентификации типа помехи, в котором сравниваются рассчитанное значение и значение, полученное экспериментально с помощью радара. При этом используются измерения расстояния до объекта для 3-х углов поворота ультразвукового модуля. Определен максимально допустимый угол поворота ультразвукового радара платформы, при котором фиксируется сигнал, отраженный от препятствия. На уровень отраженного сигнала влияют угол отражения сигнала от препятствия, чувствительность приемника, коэффициент отражения сигнала и другие параметры. На основе полученных данных предложены алгоритмы для изменения движения платформы с целью огибания препятствия.

Ключевые слова: ультразвуковой радар; HC-SR04; огибание препятствий; роботизированная платформа

Development of control system of robotic platform with ultrasonic radar HC-SR04

Mohylnyi S. B., Tsyymbal V. O.

Analytical review of known methods of using the ultrasonic radars to detect and round the obstacles. Researches of precision distance measurement to the object. It is shown that for distances uncertainty 4-150 cm value of a distance is less than 2%. The method of authentication such obstacles, which compares the calculated value and the value obtained experimentally by using radar. It uses the distance measurement to the object for 3 angles of rotation of ultrasonic module. The specified maximum angle of rotation of ultrasonic radar platform in which fixed signal reflected from the obstacle. The level of the reflected signal depends on the angle of reflection signal from obstacles, receiver sensitivity, reflectance signal and other parameters. Based on the data proposed algorithms to change the movement of platform to perform round the obstacles. In the algorithms comprises all possible options for receiving the reflected signal from obstacles.

Key words: ultrasonic radar; HC-SR04; sail around obstacles; robotic platform