

УДК 681.51

Д.А. Корнєєв, О.В. Шматко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ КОЛІСНИМ РОБОТОМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Об'єктом дослідження являється аналіз проблематики управління мобільним роботом. На основі огляду та аналізу було запропоновано два підходи до управління рухом інтелектуального мобільного робота на основі нечіткої логіки – алгоритм, ґрунтований на фазифікації локальної місцевості, і алгоритм, ґрунтований на визначенні небезпеки напрямів руху. Було розроблено програмне забезпечення та проведено порівняльні іспити запропонованих алгоритмів.

**Ключові слова:** робот, нечітка логіка, Мамдані, терма, лінгвістична змінна.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Мобільні робототехнічні системи застосовуються сьогодні в самих різних галузях. Корпоративні замовники цікавляться багатофункціональними промисловими роботами, масовий покупець активно придбаває інтелектуальні пилососи і роботи-собачки, служби безпеки і порятунку розраховують на автономні пристрої, здатні без втоми виконувати завдання стеження і пошуку. При цьому усі подібні пристрої в ідеалі повинні упевнено переміщатися в незнайомій і непередбачуваній обстановці реального світу.

Поки основною проблемою усіх нині існуючих мобільних апаратів, що переміщаються самостійно, без управління з боку людини, залишається навігація. Для успішної навігації в просторі бортова система робота повинна уміти будувати маршрут, управляти параметрами руху (задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання), правильно інтерпретувати відомості про навколишній світ, що отримуються від датчиків, і постійно відстежувати власні координати.

При побудові системи навігації роботів виникає немало технічних складнощів.

1. Щоб рухатися до мети, роботіві необхідно сформулювати досить точний образ простору, що оточує його.

2. В ході руху робот повинен швидко і точно управляти мотором і положенням коліс.

3. Робот повинен знати своє реальне місцезнаходження, а воно майже завжди відрізняється від того, що зберігається у бортовій системі.

Визначення своїх координат – фундаментальне завдання навігації, відповідь на яке цікава не лише робототехнікам, але і фахівцям з безлічі інших областей – передусім космічній, авіаційній і автомобільній [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Про аналізував сучасні роботи в галузі проблематики

розробки математичного забезпечення управління мобільним роботом, було виявлено, що в сучасній теорії керування, дослідження в галузі робототехніки найбільш перспективними напрямками розвитку є застосування нечіткої логіки, нейронних сітей та алгоритмів, основаних на змішаному застосуванні декількох методів. При розгляді цих методів у попередній статті видно, що не всі вони мають ряд особливостей, які можуть ускладнити реалізацію стабільної системи керування мобільним роботом.

**Формулювання мети статті.** Вище сказане дає можливість сформулювати мету: провести огляд предметної області, а саме існуючих методів керування, що можуть бути застосовані для рішення задачі управління мобільним колісними роботами. На підставі аналізу обрати один з методів, який обкладає кращими показниками. Розробити математичне та програмне забезпечення для управління мобільним колісним роботом з використанням нечіткої логіки.

### Виклад основного матеріалу

У загальному випадку, мета управління полягає в тому, що б на основі аналізу поточного стану об'єкту управління визначити бажану поведінку, реалізація якої дозволяє визначити значення керівних змінних. Нині для вирішення відповідних завдань використовується загальна теорія управління, у рамках якої розроблені різні алгоритми знаходження оптимальних законів управління об'єктами різної фізичної природи. Зокрема, для вирішення завдання управління мобільною платформою розроблена безліч різних способів реалізації системи управління. Можна виділити наступні основні методи.

Метод гіпотези і тесту був запропонований одним з перших. Він складається з трьох основних кроків:

1) пропонується гіпотеза відносно шляху кандидата між початковою і кінцевою конфігураціями мобільного робота при русі;

2) набір конфігурацій уздовж цього шляху тестується на можливість зіткнень;

3) якщо зіткнення виявляється можливим, з метою визначення шляху проходу досліджується перешкода, яка може викликати це зіткнення.

Увесь процес повторюється для модифікованого руху.

Головна перевага методу "гіпотеза – тест" полягає в його простоті. Основними обчислювальними операціями методу є визначення можливих зіткнень і модифікація шляхів для відвертання зіткнень. Перша операція рівнозначна здатності визначати ненульовий геометричний перетин між моделями маніпулятора і перешкод. Ця можливість, як правило, є у більшості систем геометричного моделювання. Друга операція – модифікування запропонованого шляху може бути дуже важким. Звичайні пропозиції модифікації шляху ґрунтуються на апроксимації перешкод у вигляді замкнених сфер. Ці методи добре працюють, коли перешкоди розташовані рідко. Коли ж простір заповнений об'єктами, спроби уникнути зіткнення з однією перешкодою зазвичай приводять до зіткнення з іншим. У таких умовах визначення можливих зіткнень може бути здійснене точніше, якщо застосувати систему технічного зору і/або інші системи орієнтування [3].

Другий клас алгоритмів управління ґрунтується на визначенні штрафної функції для конфігурації мобільного робота, за допомогою якої кодується наявність об'єктів. Метод штрафних функцій відноситься до чисельних методів рішення завдань умовної оптимізації. В даному випадку початкове завдання умовної оптимізації перетворюється в послідовність завдань безумовної оптимізації шляхом введення штрафних функцій. Зазвичай для конфігурації, яка призводить до зіткнень, значення штрафу дорівнює нескінченності і різко падає у міру збільшення відстані від перешкод. Повна штрафна функція є сумою штрафів окремих перешкод, до якої додається штрафний член відхилення від найкоротшого шляху. Для кожної конфігурації можна вичислити значення штрафної функції і оцінити її приватні похідні по відношенню до параметрів конфігурації. На основі цієї інформації за допомогою функції пошуку шляху необхідно вибрати послідовність конфігурацій. Рішення повинне відповідати локальному мінімуму штрафної функції, тобто компромісу між збільшенням довжини шляху і максимальним наближенням до перешкод.

Основним недоліком використання штрафних функцій для планування безпечних шляхів є точна локальна інформація, яку вони дають для пошуку шляху. Спроби визначення шляху по локальних мінімумах штрафної функції можуть привести до тупикових ситуацій, коли подальший пошук шляху

стає неможливим. В цьому випадку алгоритм повинен вибрати попередню конфігурацію і продовжити пошук в іншому напрямі. Такі точки повернення важкі для ідентифікації на основі локальної інформації. Тому корисно комбінувати метод штрафних функцій із загальнішим методом "гіпотеза – тест". Штрафні функції зручніші в тих випадках, коли потрібно тільки невеликі модифікації шляху [3, 5].

Алгоритми скелетування зводять вільний простір робота до одномірного представлення, для якого завдання планування шляху стає простіше. Таке представлення з меншою кількістю вимірів називається скелетом простору конфігурацій.

Один з прикладів методу скелетування: лінія Вороного – це геометричне місце точок, рівновіддалених від двох або декількох перешкод в просторі конфігурацій.

Таким чином, первинне завдання планування шляху зводиться до пошуку шляху на лінії Вороного, яка зазвичай є одновимірною (за винятком деяких окремих випадків) і має кінцеву кількість таких точок, в яких перетинаються три або більша кількість одновимірних кривих. Рух по лінії Вороного може не забезпечити отримання найкоротшого шляху, але виявлені шляхи відрізнятимуться наявністю максимальних відстаней від перешкод.

Недоліки методу, ґрунтованого на використанні лінії Вороного, полягають в тому, що їх складно застосовувати в просторах конфігурацій з великою розмірністю, крім того, при їх використанні доводиться здійснювати занадто великі обхідні маневри, якщо простір конфігурацій характеризується широким розмахом. До того ж може виявитися складним обчислення лінії Вороного, особливо в просторі конфігурацій, що характеризується складною формою перешкод [4].

В цьому випадку будується нечітка модель, ґрунтована на формальному представленні характеристик досліджуваної системи в термінах лінгвістичних змінних. Ця модель є особливо корисною у зв'язку з тим, що дані, що отримуються від сенсорів мобільного робота, часто мають великі погрішності. До того ж вона дозволяє істотно спростити обчислення, що корисно, оскільки мобільні роботи мають обмежені обчислювальні ресурси.

Достоїнствами технологій нечіткої логіки є можливість плавного переходу від однієї категорії до іншої за рахунок формування середньозваженого результату, що дозволяє істотно скоротити число продукційних правил в порівнянні з експертною системою і можливість пояснення результату в процесі відладки системи.

На основі проведеного аналізу було обрано метод на основі нечіткої логіки та пропонується два алгоритми для управління колісним роботом: алго-

ритм управління рухом на основі фазифікації локальної карти місцевості та алгоритм управління рухом за допомогою визначення небезпеки напрямів переміщення [5].

Головним завданням системи управління рухом є планування переміщень робота до деякої цільової точки з урахуванням різних чинників.

При розробці системи управління рухом мобільного робота виникає проблема введення в нечітку систему локальної карти місцевості. У відмінності від скалярних величин, карта місцевості є великим масивом даних, який безпосередньо обробити досить складно.

Мобільний робот – це чотириколісна база з двома ведучими колесами, електродвигунами для провідних коліс. Схема мобільного робота зображена на рис. 1.

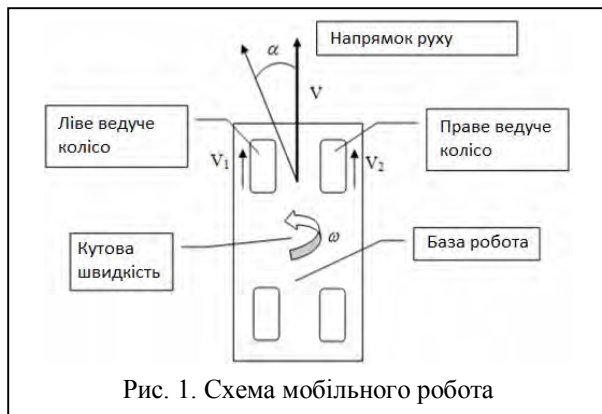


Рис. 1. Схема мобільного робота

Зручною властивістю нечіткої системи управління є формування на її виході середньозваженого результату. Ця властивість нечіткої системи лежить в основі цього алгоритму управління рухом в середовищі з перешкодами. Для вирішення проблем, пов'язаних з великим об'ємом даних, локальну карту місцевості передбачається розбити на  $n$ -ту кількість секторів (рис. 2, де  $V$  – лінійна швидкість (м/с),  $\omega$  – швидкість повороту ( $^{\circ}/с$ ),  $R$  – радіус дії далекоміра (м),  $\varphi$  – кут обзору далекоміра,  $\varphi_i$  – кут 1-го сектора). Після цього по черзі для кожного сектора проводиться процес фазифікації і нечіткого логічного висновку, не прибігаючи до процедури дефазифікації і скиданню вихідних результуючих великих кількостей до тих пір, поки не буде проведений розрахунок для усіх секторів (рис. 2).

Розглянемо застосування розглянутого алгоритму в контексті конкретного завдання, поставленого в цій роботі.

Вважатимемо, що як скануючий пристрій використовується лазерний далекомір, кут огляду якого складає  $120^{\circ}$ , а дальність 0,8 м.

Тоді вхідні параметри  $R$  – відстань до перешкоди і  $b$  – пеленг на перешкоду змінюються в діапа-

зонах від 0 до 0,8 м і від  $-60^{\circ}$  до  $60^{\circ}$  відповідно.

Нехай поточна швидкість мобільної платформи  $U$ , відстань до мети  $D$  і пеленг на цільову точку  $a$ , а також відстань і пеленг на перешкоду в  $i$ -му секторі  $R_i$  і  $\beta_i$  ( $i = 0 \dots n - 1$ ), поступають в нечітку систему управління рухом.

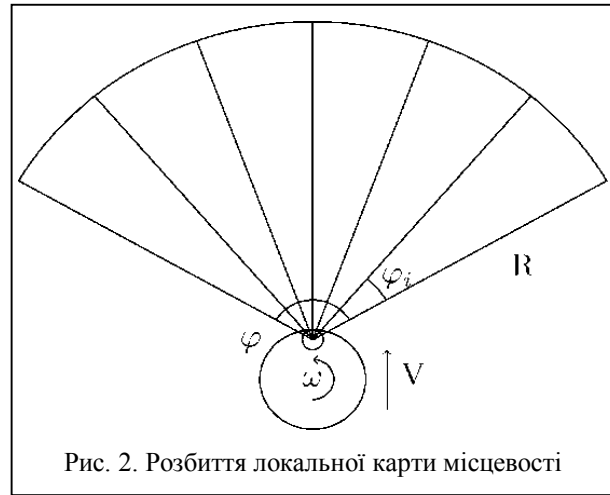


Рис. 2. Розбиття локальної карти місцевості

В даному випадку вихідними сигналами системи, що управляють, буде необхідна швидкість руху  $V$  і швидкість повороту  $q$ . Параметр  $V$  змінюється від 0 до 0,3, і визначає лінійну швидкість робота в м/с. Параметр  $q$  змінюється від  $-180^{\circ}/3$  до  $180^{\circ}/3$ , і визначає швидкість повороту платформи.

Механізм нечіткого виведення Мамдани без проведення дефазифікації повторюється  $n$  разів, а тільки після цього проводиться дефазифікація, яка забезпечує перетворення результатів логічного висновку в конкретні значення сигналів, що управляють, по методу "центру тяжіння".

Функціонування розробленої системи управління визначається тринадцятьма продукційними правилами, в яких закладена логіка прийняття рішення в тій або іншій ситуації:

- Правило 1. ЯКЩО  $a$ Зліва ТО  $q$ Вліво
- Правило 2. ЯКЩО  $a$ СильноЗліва ТО  $q$ СильноВліво
- Правило 3. ЯКЩО  $a$ Справа ТО  $q$ Вправо
- Правило 4. ЯКЩО  $a$ СильноСправа ТО  $q$ СильноВправо
- Правило 5. ЯКЩО  $D$ Близько ТО  $V$ Стояти
- Правило 6. ЯКЩО  $D$ Далеко ТО  $V$ Швидко
- Правило 7. ЯКЩО  $D$ ДужеДалеко ТО  $V$ ДужеШвидко
- Правило 8. ЯКЩО  $b$ Зліва І ( $R$ Близько1 І  $U$ Повільно АБО  $R$ Близько2 І  $U$ Швидко) ТО  $q$ Вправо2
- Правило 9. ЯКЩО  $b$ Зправа І ( $R$ Близько1 І  $U$ Повільно АБО  $R$ Близько2 І  $U$ Швидко) ТО  $q$ Вліво2

Правило 10. ЯКЩО вПрямоП І РБлизько1 ТО qВліво3 І VСтояти

Правило 11. ЯКЩО вПрямоЛ І РБлизько1 ТО qВправо3 И VСтояти

Правило 12. ЯКЩО РБлизько2 І НЕ (вПрямоЛ АБО вПрямоП)

І НЕ (ДБлизько) ТО VСередне

Правило 13. ЯКЩО RНебезпекаБлизько ТО qРазворот

Розглянемо процес керування детальніше на прикладі за допомогою розробленого програмного забезпечення. При запуску моделювання (рис. 3, а) запускається цикл, в якому чергуються опитування сенсорів та обробка даних механізмом керування нечіткого виведення, а саме правила номер 1 – 7 (рис. 3, б, в). Для визначення напрямку до цільової точки, відстані та встановлюють напрямок руху та швидкість робота.

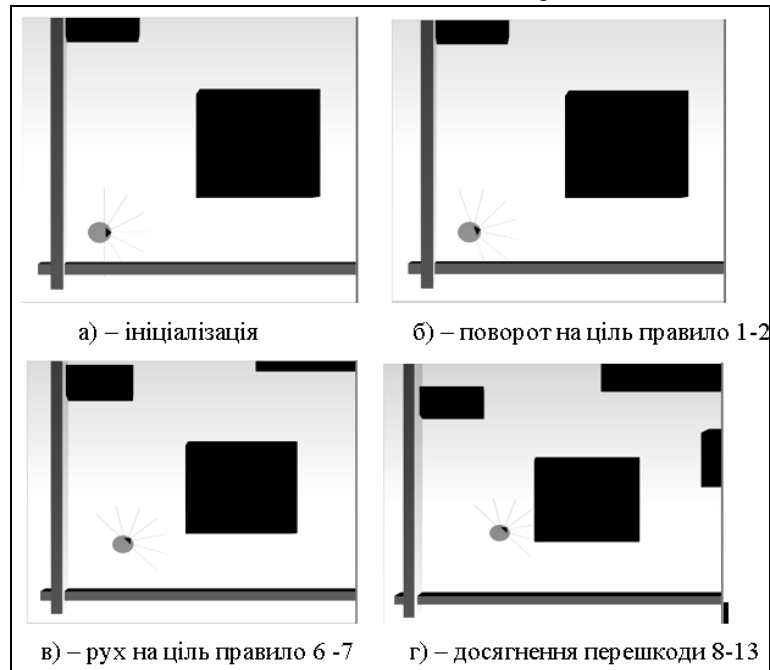


Рис. 3. Рух робота в умовах перешкод

При появі (рис. 3, г) перешкоди відбувається обробка сенсорів та на основі правил 8-12 та правил 6-7 (рис. 4) змінюється напрямок руху та швидкість; правила 1-4 не діють, поки на напрямку руху не зникне перешкода.

За аналогією проходить керування на всьому шляху до цільової точки. Завершення алгоритму керування відбувається за виконанням умов, коли поточна координата робота дорівнює цільовій координаті.

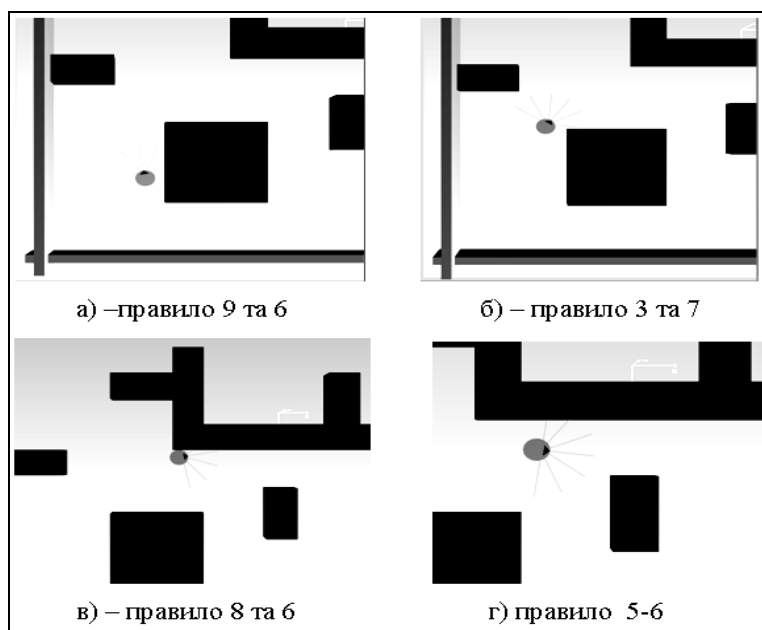


Рис. 4. Рух в умовах перешкод

Результат середніх показників параметрів робіт з різними алгоритмами зведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна таблиця статистичних даних робіт

| Алгоритм керування                                      | Алгоритм 1 | Алгоритм 2 |
|---|------------|------------|
| Середній час руху, с                                    | 100        | 150        |
| Середня кількість зіткнень з перешкодами, разів         | 0,2        | 1,2        |
| Середня кількість використаних правил на один іспит, шт | 95         | 135,7      |
| Загальна кількість з астрявання, разів                  | 0          | 19         |
| Середня довжина шляху, м                                | 22         | 26         |

### Висновки

Результатом роботи, виконання якої представлено вище, була розробка моделі функціонування рухомого колісного роботу на основі нечіткого виведення. Результатом роботи стали два алгоритми керування поведінкою роботи, що відрізняються правилами виробки рішень на вибір подальшого напрямку руху та кількістю задіяних сенсорів, а також їх програмна реалізація.

За результатами моделювання поведінки роботів було виявлено, що алгоритм на основі фазифікації локальної карти місцевості кращий за алгоритм управління рухом за допомогою визначення небезпеки напрямів переміщення. Це визначено при проведенні ряду тестів поведінки роботів при різних ситуаціях, а саме:

1) алгоритм 1 показує себе більш мобільним в складних середовищах з великою кількістю об'єктів, не має сліпих зон та може рухатися до цілі, яка змінює свої координати під час моделювання;

2) другий алгоритм має кращі показники орієнтації в просторі, але внаслідок своєї комплектації сенсорами може потрапити в цикл, в якому він буде використовувати декілька правил по черзі і в результаті застрягне в одному секторі. Складні середовища із динамічними об'єктами приводять робота в стан, коли він починає роботи за багато об'їздів, тим самим збільшує час затрачений на рух до цілі.

Загальні результати застосування алгоритмів, приведені у табл. 1, підтверджують сформульовані висновки.

Отримані алгоритми можуть бути використані при розробці систем керування колісних роботів різного призначення, зокрема роботів, призначених для функціонування у замкнених просторах.

### Список літератури

1. Аттетков А.В. Методы оптимизации // А.В. Аттетков, С.В. Галкин, В.С. Зарубин. – М.: Изд-во МГТУ, 2011. – 500 с.
2. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М. Юю Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2011. – 224 с.
3. Цюй Дуньюэ. Управление мобильным роботом на основе нечетких моделей / Цюй Дуньюэ // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 115-121.
4. Корягин Е.В. Основные системы интеллектуальных мобильных устройств / Е.В. Корягин, П.В. Ложкин, П.А. Прокопович // Вестник Российского государственного университета им. И. Канта. – 2013. – №10.
5. Охоцимский Д.Е. Проблемы динамики и управления мобильных колесных роботов / Д.Е. Охоцимский, В.Е. Павловский // Материалы научной школы-конференции «Мобильные роботы и мехатронные системы». – М., МГУ, 2015.

Надійшла до редколегії 21.03.2016

Рецензент: канд. техн. наук, проф. В.О. Гужва, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

### РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ КОЛЕСНЫМ РОБОТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Д.А. Корнеев, А.В. Шматко

Объектом исследования является анализ проблематики управления мобильным роботом. На основе обзора и анализа были рассмотрены два подхода к управлению движением интеллектуального мобильного робота на основе нечеткой логики – алгоритм, основанный на фазификации локальной местности, и алгоритм, основанный на определении опасности направлений движения. Для них были построены функции принадлежности для термов лингвистических переменных, на основании которых спроектированы базы правил, которые определяют поведение робота в разных ситуациях. Было разработано программное обеспечение и проведены сравнительные экзамены предложенных алгоритмов.

**Ключевые слова:** робот, нечеткая логика, Мамдани, терма, лингвистическая переменная.

### SOFTWARE DEVELOPMENT FOR A MANAGEMENT BY THE WHEELED ROBOT WITH THE USE OF FUZZY LOGIC

D.A. Korniciev, O.V. Shmatko

A research object is an analysis of range of problems of management by mobile works. On the basis of review and analysis two going were considered near a management by motion of intellectual mobot on the basis of fuzzy logic is the algorithm, based on фазификации of local locality and algorithm based on determination of danger of directions of motion. For them there were the built functions of belonging for the therms of linguistic variables, on the basis of that the projected rulebases, that determine behavior of robot is in different situations. Software was worked out and comparative examinations of offer algorithms are conducted.

**Keywords:** robot, fuzzy logic, mamdani, therm, linguistic variable.