

А. Д. Кожухівський, д.т.н, професор,

О. В. Горбенко, аспірант

e-mail: horbenko@2upost.com

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18000, Україна

РОЗРОБКА ЕМУЛЯТОРА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Розглядається питання моделювання системи навігації і управління мобільним роботом. Пропонується один із шляхів вирішення цієї проблеми та наведено схему визначення меж робочого простору, який формується під час руху робота. Представлено метод та засоби щодо рішення навігаційних задач та стратегії функціонування роботів, які повинні будувати маршрути, управляти параметрами руху, правильно інтерпретувати одержувану від датчиків інформацію про оточення та відстежувати власні координати. Розглядається метод створення мобільного робота, що володіє здатністю до самостійного пересування і автоматичного виконання поставлених завдань. Моделювання та обчислювальні експерименти дозволять підвищити ефективність досліджень динамічних властивостей колісних роботів і проаналізувати різні варіанти стратегій і схем управління.

Ключові слова: емулятор, мобільний робот, моделювання, автоматизація.

Вступ. Нині сфери застосування мобільної робототехніки істотно розширюються в багатьох галузях діяльності людини. Особливо це характерно для діяльності, здійснюваної при вирішенні спеціальних завдань, пов'язаних із загрозами для здоров'я і життя людей.

Застосування мобільних роботів дає змогу виключити загрозу здоров'ю і життю людини-оператора. Таким чином, актуальною є проблема створення мобільних роботів, що володіють здатністю до самостійного пересування і автоматичного виконання поставлених завдань.

Роботи – автоматичні системи, призначені для відтворення рухових та інтелектуальних функцій людини. Від традиційних автоматів відрізняються більшою універсальністю і здатністю адаптації на виконання різних завдань, у тому числі в змінюваній обстановці.

Постановка проблеми. Нині існує велика кількість методів і алгоритмів визначення перешкод, однак основним недоліком більшості методів є те, що майже всі методи вимагають певної апаратури, наприклад, різних датчиків [1].

Тому виникає необхідність у створенні віртуального середовища для моделювання та розробки мобільного робота.

Різні методи вимагають різного набору датчиків. Сучасною тенденцією є дослідження застосування таких технологій, які дозволили б реалізовувати процеси так, як їх виконує людина. Це, в першу чергу, стосується і методик обходу перешкод.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій за останній час показує, що зусилля багатьох дослідницьких лабораторій у галузі робототехніки спрямовані на побудову автономних роботів і вирішення пов'язаних з цим специфічних завдань.

Одним із ключових завдань при функціонуванні роботів у невідомій обстановці є планування безпечних траєкторій, що дозволяють будувати безпечні маршрути переміщення [2].

Складність побудови маршруту мобільного робота полягає в тому, що, по-перше, в робочій зоні наявні інші рухливі перешкоди, рух яких у більшості випадків розглядається як випадковий процес з невідомими параметрами, а по-друге, обчислювальні можливості бортових систем мобільних роботів обмежені, що не дозволяє вирішувати задачу планування з використанням класичних переборних або потенційних алгоритмів [3].

Тому у великій частині публікацій розглядаються різні способи використання інтелектуальних алгоритмів, побудованих з вико-

ристанням нейронних мереж, нечітких або генетичних алгоритмів [4].

Метою роботи є розробка емулятора формування віртуального простору для моделювання робота з навігацією в невідомому середовищі.

Постановка задачі. Необхідно створити емулятор автоматично і дистанційно керованого мобільного робота, здатного рухатися по пересіченій місцевості, з маніпулятором для захоплення об'єктів і датчиками для проведення досліджень.

Вирішення задачі. Рухливі роботи відомі і використовуються досить давно в різних галузях людської діяльності. Вони повинні бути пристосовані до самостійного переміщення в робочому просторі, призначені для автоматичного транспортування різних предметів, екологічного моніторингу, попередження надзвичайних ситуацій, розвідки, збору інформації про об'єкти.

Автономний мобільний робот є складною керованою електромеханічною системою, що складається з ходової частини та багаторівневої системи управління рухом. У ньому одночасно відбуваються механічні процеси – рух робота та інформаційні процеси: обробка сигналів вимірювальних пристроїв і формування керуючих сигналів.

Ходова частина робота може бути колісною, гусеничною або швидкозамінною з колісною на гусеничну, і навпаки.

Вибір типу ходової частини визначається характером місцевості, на якій переважно використовуватиметься робот. Класифікація місцевості може бути проведена за значенням вимірюваної кореляційної функції в різних точках. Перший параметр кореляційної функції, який може бути покладений в основу цієї класифікації – значення функції $K_{\uparrow m}$ в точці $m = 0$ [5].

У цій точці $K_{\uparrow m}$ дає дисперсію мікронерівностей дороги.

Проте дисперсія має розмірність квадрата відстані, тому дороги прийнято розрізняти за середньоквадратичним відхиленням, тобто за значенням $\sqrt{K_{\uparrow 0}}$.

Дороги розрізняються таким чином:

- дороги першого класу, в яких $\sqrt{K_{\uparrow 0}} \leq 0,1$ м;

- дороги другого класу, в яких $0,1 \leq \sqrt{K_{\uparrow 0}} \leq 0,2$ м;

- дороги третього класу, в яких $\sqrt{K_{\uparrow 0}} > 0,2$ м.

Дороги третього класу $\sqrt{K_{\uparrow 0}} > 0,2$ м зустрічаються рідко, в міських умовах більшість доріг можна віднести до першого класу, а в польових умовах – до другого [6].

Мобільний робот, який призначений для роботи на важкодоступній місцевості, має гусеничну ходову частину. При переважному використанні робота на рівній поверхні використовується колісний варіант транспортного засобу.

Основні властивості колісних транспортних засобів мобільного робота (прохідність, економічність, плавність ходу і стійкість руху), в першу чергу, залежать від загальної кількості коліс і кількості приводних коліс.

Найбільш поширеною конструктивною схемою мобільних колісних роботів є чотириколісна. Такі транспортні системи мають високі експлуатаційні якості на рівних твердих поверхнях. Збільшення прохідності робота досягається завдяки системам з індивідуальним приводом на кожне колесо [7].

Поряд з перевагами такі колісні транспортні системи мають суттєві недоліки: подолання незначних по висоті перешкод, відсутність можливості пересування сходами і обмеженість руху по ухилах. Ці недоліки істотно звужують діапазон застосування чотириколісних мобільних роботів.

Збільшення кількості коліс призводить до ускладнення конструкції, в той же час збільшується профільна прохідність, поліпшується маневреність при використанні бортової схеми повороту. Для підвищення адаптації багатоколісних машин до поверхні складного профілю їх корпус виконують у вигляді секцій, з'єднаних спеціальним шарніром. При цьому всі колеса є тяговими.

Гусенична ходова частина конструктивно складніша, важка і менш надійна порівняно з колісною, але має цілий ряд істотних переваг, наприклад, краща опорно-тягова і профільна прохідність, більша міцність.

Гусеничний робот володіє більш високою прохідністю за рахунок надійного зчеплення з поверхнею руху, може долати перешкоди у вигляді виступів і провалів, а також пересуватися сходами [8].

Мобільний робот може використовувати датчики температури, інфрачервоні сенсори, глобальну систему позиціонування (GPS)

для сприйняття навколишнього середовища, а також пристрої, що відповідають за переміщення робота [9].

Для успішної навігації в просторі система робота повинна вміти будувати маршрут, управляти параметрами руху (задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання), правильно інтерпретувати інформацію про середовище функціонування, що отримується від датчиків. Мобільний робот повинен постійно відстежувати власні координати.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- забезпечення автоматичного руху;
- забезпечення стійкості функціонування в усіх режимах;
- визначення положення мобільного робота в просторі;
- формування віртуального простору робочої зони;
- визначення стратегії функціонування.

Вирішення перелічених задач у реальних умовах є складним завданням і може потребувати досить великих матеріальних ресурсів і часу. Тому доцільним є створення віртуального середовища, в якому можна моделювати різні аспекти функціонування робота, що охоплюють завдання формування локації, формування уявлення про простір, планування і відпрацювання утилітарних завдань.

Емулятор повинен сприймати змодельовані сигнали зовнішнього світу за реальні. Тобто, в моделі не повинно бути апаратної частини. При цьому програма має сприймати все як реальність.

Програмний емулятор повинен включати в себе візуалізатор процесу функціонування робота. З огляду на те, що весь цей процес проходить у горизонтальній площині, бажано візуалізувати його за допомогою «виду зверху», тому що при цьому добре видно шлях, яким рухається робот.

Для створення емулятора потрібно провести проектування вбудованого програмно-апаратного забезпечення і проектування устаткування, сенсорний відбір, проектування систем управління і механічних конструкцій. Проведення такого обсягу робіт вимагає значних витрат і призводить до появи невідповідності або помилок навіть концептуального характеру. В цьому випадку середовище моделювання надає віртуальні простори для тестування, вимірювання та візуалізації алгоритмів

роботів і, найголовніше, дозволяє виявити ризики погіршення функціонування робота.

Моделювання відіграє ключову роль у галузі роботобудування, тому що воно дозволяє проводити експерименти, які в реальних умовах були б дорогими або вимагали великих витрат часу.

Облік фізичних процесів руху робота досягається через введення відповідних моделей, які наближено дозволяють урахувати зазначені обставини функціонування робота в реальних умовах.

Моделювання дозволяє проводити випробування в динамічних штучних середовищах, збираючи дані, щоб визначити якість системи управління.

Для моделювання робота у віртуальному середовищі та емуляції його поведінки використовуються просторові типи даних, за допомогою яких створюються віртуальні перешкоди.

Основне призначення просторових типів даних – представляти такі властивості реальних об'єктів, як розташування, форма, розміри, тобто геометрію об'єктів. На практиці створення об'єктів зі складною геометрією проводиться шляхом послідовної побудови простіших елементів, які прийнято називати геометричними примітивами. Вони можуть бути простими і складними.

До простих примітивів відносять: точку, відрізок, коло, дугу, пряму, промінь, еліпс, сплайн. До складних примітивів зазвичай відносять: полілінію, мультилінію, мультитекст, розмір, винос, допуск, штрихування, входження блоку або зовнішнього посилання, атрибут, растрове зображення.

Вирішення зазначених вище завдань дозволяє отримати інструментальний засіб для дослідження алгоритмів функціонування мобільних роботів при виконанні різних утилітарних завдань.

Моделювання функціонування мобільного робота проходить у дві стадії. На першій проводиться сканування простору та визначаються координати характерних точок контурів, тобто таких точок, які визначають геометрію. На другій стадії визначається стратегія функціонування відповідно до призначення мобільного робота.

Визначення меж контурів проходить шляхом взаємодії просторових сенсорів робота з елементами простору. Характер взаємодії, перш за все, визначається діаграмою направ-

леності сенсорів. Для мобільних роботів просторові датчики являють собою кільце, яке зміщується при наїзді робота на перешкоду, при цьому формується пропорційний сигнал сили контакту. В останньому варіанті можливо при емуляції вибирати колову діаграму на-правленості, а на схемі її представляти у вигляді кола, вісь якого збігається із віссю обертання робота. Характер взаємодії при цьому можливо вважати як точковий і знаходити як перетин кола та прямої [10]:

$$\begin{cases} (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2; \\ \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}. \end{cases} \quad (1)$$

Для вирішення системи (1) необхідно розв'язати рівняння прямої відносно y та зробити його підстановку у рівняння кола. Ввівши заміну $A = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ та провівши спро-

щення, отримуємо наступне рівняння:

$$\begin{aligned} & A^2 \times x^2 + x^2 - 2 \times A^2 \times x \times x_1 - \\ & 2 \times A \times x \times y_0 + 2 \times A \times x \times y_1 - 2 \times x \times \\ & x_0 + x_0^2 + y_0^2 - 2 \times y_0 \times y_1 + A^2 \times x_1^2 + 2 \times \\ & A \times x_1 \times y_0 - 2 \times A \times x_1 \times y_1 - R^2 + y_1^2 = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Розв'язок рівняння (2) зводиться до рішення звичайного квадратного рівняння $ax^2 + by + c = 0$, де: $a = 1 + A^2$; $b = -2 \times (A^2 \times x_1 + A \times y_0 - A \times y_1 + x_0)$.

На рис. 1 зображено схему визначення робочого простору робота.

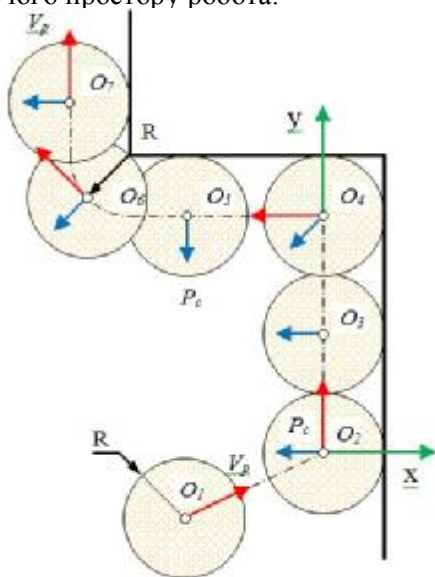


Рис. 1. Схема визначення меж робочого простору

Розглянемо принцип роботи наведеної схеми. Оскільки в початковий момент робот не має уявлення про оточення, то відповідно до зазначеної концепції доцільно здійснювати рух робота прямо. Перше зіткнення з об'єктом дає точку O_2 . Вектор взаємодії сенсора з об'єктом P_c утворює з вектором швидкості руху V_p кут $\varphi = \pi/2$. Тому напрямком руху робота коректується на визначену величину та здійснюється прив'язка системи координат до нового положення робота. В подальшому проводиться об'їзд контуру. При цьому має місце швидка зміна напрямку руху \vec{P}_c . Точка зміни напрямку руху сприймається як характерна точка об'єкта, координати якої зберігаються в структурі опису контуру.

Відповідно до вибраної моделі віртуального простору його формування слід проводити шляхом обходу усіх контурів середовища та об'єктів, причому лише периметр середовища буде зовнішнім контуром. Після завершення виявлення усіх контурів доцільно систему координат перенести, щоб усі точки контуру середовища знаходились у першому квадранті.

Операцією перенесення системи координат у саму ліву нижню точку віртуального простору завершується формування моделі простору робочої зони мобільного робота.

Робоча зона мобільного робота визначена контуром приміщення, який у віртуальній моделі буде представлений вектором $K_0 = \{a_i\}$; $i \in N$, де a_i – характерні точки контуру.

Таке уявлення не дозволяє описати всі види геометрії приміщення, але дозволяє спростити математичні і логічні маніпуляції в рішенні задач навігації та стратегії функціонування. У разі, якщо контур приміщення сформований з ліній вищих порядків, то його можна апроксимувати ламаною. Контур приміщення являє внутрішню область функціонування мобільного робота, однак вона обмежена геометрією предметів, розташованих у площині переміщення робота. Це обмеження виражається як $K = \{K_j\}$; $j \in N$, де $K_j = \{b_{j,n}\}$; $n \in N$ – контури опису предметів, що становлять лінійний вектор, зображений у вигляді послідовності характерних точок контуру.

І зовнішні, і внутрішні контури описуються точками у вигляді $a(x, y)$ та $b(x, y)$, x, y –

координати точок, причому $a, b \in R^2$, де R – радіус кола робота.

З урахуванням вищесказаного, доцільно модель віртуального простору представити у вигляді:

$$F = \{p \in P \mid p \in K_0, p \notin K\}.$$

У програмі управління роботом віртуальний простір представляється у вигляді структури, в якій зазначено кількість контурів, і масиву елементів типу «контур». У цій структурі розглядається кількість характерних точок, які поміщаються в цей масив.

Висновок. Розглянуто метод створення мобільного робота, що володіє здатністю до самостійного пересування і автоматичного виконання поставлених завдань. Представлено процес створення системи навігації, що дозволяє скласти карту середовища, в якому функціонує мобільний робот. Наведено метод планування маршруту і обходу перешкод в емуляторі, який дозволяє проводити експерименти, що в реальних умовах були б дорогими або вимагали великих витрат часу.

Моделювання та обчислювальні експерименти дозволять підвищити ефективність досліджень динамічних властивостей колісних роботів і проаналізувати різні варіанти стратегій і схем управління.

Список літератури

1. Даринцев О. В. Система планирования движения группы мобильных микророботов на основе генетических алгоритмов / О. В. Даринцев, А. Б. Мигранов // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2007. – № 3. – С. 163–173.
2. Терехов С. А. Лекции по нейронным сетям / С. А. Терехов // Лаборатория искусственных нейронных сетей НТО – 2. – ВНИИТФ, Снежинск, 1998. – С. 154.
3. Юревич Е. И. Основы робототехники / Е. И. Юревич – СПб. : БХВ – Петербург, 2010. – 368 с.
4. Chand P. Towards a robust feedback system for coordinating a hierarchical multi-robot system / P. Chand, D. A. Carnegie // Robotics and Autonomous Systems. – 2014. – 62. – pp. 91–107.
5. Foderaro G. Distributed optimal control for multi-agent trajectory optimization / G. Foderaro, S. Ferrari, T. A. Wettergren // Automatica. – 2014. – 50. – P. 149–154.

6. Kohonen T. Self-organizing maps / T. Kohonen. – New York : Springer-Verlag, 2001. – P. 501.
7. Lagoudakis Michail G. Mobile robot local navigation with a polar neural map: a thesis for Master of Science degree. – Spring, 1998. – P. 135.
8. Информационные устройства робототехнических систем : учеб. пособие / [под ред. С. Л. Зенкевича, А. С. Ющенко]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 384 с.
9. Гусев Д. М. Навигация мобильного робота на полигоне, оснащённом системой маяков / Д. М. Гусев, А. И. Кобрин, Ю. Г. Мартыненко // Мобильные роботы и мехатронные системы : Материалы Науч. школы-конф., 5-6 декабря 2000 г. – М. : Изд. Моск. ун-та. – 2000. – С. 140–151.
10. Бурдаков С. Ф. Системы управления движением колесных роботов / С. Ф. Бурдаков, И. В. Мирошник, Р. Э. Стельмаков. – СПб. : Наука, 2001. – 352 с.
11. Suruz Miah M. Mobile robot trajectory tracking using noisy RSS measurements : an RFID approach / Miah M. Suruz, W. Gueaieb // ISA Transactions. – 2014. – 53. – P. 433–443.

References

1. Darintsev, O. V. and Migranov, A. B. (2007), System for traffic planning of mobile micro-robots group based on genetic algorithms. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya*, (3), pp. 163–173 [in Russian].
2. Terekhov, S. (1998), Lectures on neural networks. *Laboratoriya iskusstvennykh neyronnykh setey NTO*, (2), VNIITF, Snezhinsk, p. 154 [in Russian].
3. Yurevich, E. I. (2010), Fundamentals of robotics. St. Petersburg: BHV – Petersburg, 368 p. [in Russian].
4. Chand, P. and Carnegie, D. A. (2014), Towards a robust feedback system for coordinating a hierarchical multi-robot system. *Robotics and Autonomous Systems*, (62), pp. 91–107.
5. Foderaro, G., Ferrari, S. and Wettergren, T. A. (2014), Distributed optimal control for multi-agent trajectory optimization. *Automatica*, (50), pp. 149–154.
6. Kohonen, T. (2001), Self-organizing maps. New York: Springer-Verlag, p. 501.

7. Lagoudakis, Michail, G. (1998), Mobile robot local navigation with a polar neural map: a thesis for Master of Science degree, Spring, p. 135.
8. Information devices of robotic systems (2005), In: S. L. Zenkevich, A. S. Yushenkov (eds.). Moscow: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana, 384 p. [in Russian].
9. Gusev, D. M., Kobrin, A. I. and Martynenko, Y. G. (2000) Navigation of mobile robot on training ground, equipped with a system of beacons. *Mobilnyye roboty i mehatronnyye sistemy*: materials of sci. school-conf., 5–6 Dec. Moscow: Izd. Mosk. Un-ta, pp. 140–151 [in Russian].
10. Burdakov, S. F., Miroshnik, I. V. and Stelmakov, R. E. (2001), Control systems of wheeled robots motion. St. Petersburg: Nauka, 352 p. [in Russian].
11. Suruz, Miah, M., Gueaieb, W. (2014), Mobile robot trajectory tracking using noisy RSS measurements: an RFID approach. *ISA Transactions*, (53), pp. 433–443.

A. D. Kozhukhivskiy, *Dr. Tech.Sc., professor*,

O. V. Horbenko, *Ph.D.*

e-mail: horbenko@2upost.com

Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18000, Ukraine

DEVELOPMENT OF EMULATOR FOR NAVIGATION SYSTEM MODELING AND MOBILE ROBOT CONTROL

The problem of navigation system modeling and mobile robot control is considered. One of the ways to solve this problem is offered and the diagram determining the boundaries of a working space, which is formed during robot's movement, is shown. The methodology and tools to solve navigational problems and strategies of robots' functioning, that have to build a route, to control motion parameters, to interpret the resulting information from sensors monitor on the environment and their coordinates, are described. The method of development of a mobile robot, that has the ability to independently move and to automatically perform tasks, is considered. An important role is played by creating a navigation system that allows to draw a map of the environment in which a mobile robot operates to plan a route that leads to the goal and avoid obstacles.

The use of mobile robots eliminates the threat to health and life of the operator. So the problem of creating mobile robots that have the ability to independent movement and automatically perform tasks is important.

Currently, the application of mobile robotics is significantly expanded in many areas of human activity. This is especially true for activities performed to solve specific problems, related with threats to health and life.

Robots is automatic systems are designed for playback of motor and intellectual functions of man. Comparing with traditional machines they are more versatile and able to be adapted to various tasks, including changing environment.

Keywords: *emulator, mobile robot, modeling, automation.*

Статтю представляє А. Д. Кожухівський, д.т.н., професор, Черкаський державний технологічний університет.