

УДК 618.31.05

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПОДОЛАННЯ ПЕРЕШКОД МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

І.Р. Арсенюк, Д.А. Волхонський

Актуальність

Після вражаючих успіхів, досягнутих у другій половині минулого століття при впровадженні промислових роботів у процес автоматизованого виробництва різної продукції, можна без сумніву говорити про перенос центра наукових досліджень в галузь створення “екзотичних” роботів. Тут потрібно згадати космічних роботів для вивчення поверхні небесних тіл Сонячної системи, роботів для експлуатації Міжнародної космічної станції, роботів для підводних досліджень, тощо. У ході боротьби з тероризмом виникла гостра необхідність у роботах, призначених для розмінування підозрілих предметів у місцях скупчення людей (наприклад, в аеропортах або суспільному транспорті). Потрібні роботи, які можуть без допомоги оператора гасити пожежі, самостійно пересуватися по задалегідь невідомій реальній пересіченій місцевості, виконувати рятувальні операції під час стихійних лих, аварій атомних електростанцій і т.п.

Мета досліджень

Зменшення часу досягнення цілі мобільним роботом під час подолання нерухомих перешкод шляхом застосування підходу на основі нечіткої логіки.

Постановка задачі

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) виконати огляд проблем, що мають місце на сучасному етапі розвитку мобільних робототехнічних систем;
- 2) розробити підхід щодо подолання перешкод MPC, який дозволяє врахувати основні фактори зовнішнього середовища (такі, як якість поверхні по якій рухається об'єкт (коефіцієнт тертя, колір, нерівність тощо), положення робота, рівень заряду акумулятора та ін.). При цьому в кожен проміжок часу робот повинен ідентифікувати своє положення відносно перешкоди та приймати рішення щодо подальшої дії, використовуючи при цьому таблицю нечітких правил;
- 3) розробити алгоритм, котрий дозволяє реалізувати запропонований підхід;
- 4) виконати експериментальні дослідження керування MPC, що базуються на запропонованому підході.

Огляд сучасного стану досліджень

Поки основною проблемою всіх нині існуючих мобільних апаратів, що переміщуються самостійно, без керування з боку людини, залишається навігація [1]. Для успішної навігації у просторі бортова система робота повинна вміти будувати маршрут, керувати параметрами руху (задавати кут повороту коліс і швидкість їх обертання), правильно інтерпретувати відомості про навколишній світ, одержувані від датчиків, і постійно відслідковувати власні координати. Комп'ютерні системи побудови маршруту розроблені досить добре. Спочатку вони створювалися для найпростіших віртуальних середовищ, і програма, що моделює дії робота, швидко знаходила оптимальний шлях до мети у двовимірних лабіринтах і кімнатах, наповнених простими перешкодами [2]. Коли з'явилися швидкі процесори, стало можливим формувати траєкторію руху вже на складних тривимірних картах, причому в реальному часі. Цікаво, що істотний внесок у цей алгоритмічний напрямок внесли компанії-розробники комп'ютерних ігор, що фінансують відповідні дослідження. В сучасних іграх з кожної із конфліктуючих сторін бере участь кілька сотень бойових одиниць, що діють на випадково згенерованих тривимірних картах, і кожна одиниця швидко та досить ефективно знаходить шлях до цілі. Щоправда, при цьому вона, як правило, неявно має повну інформацію про карту та своє місце розташування на ній [3].

Тому в реальних умовах експлуатації такі алгоритми як хвильовий алгоритм, пошук в ширину [4] малоефективні. Повноцінний робот повинен визначати власні координати та обирати напрямок руху лише на підставі показників бортових датчиків, тому системи штучного інтелекту, створювані для автономних машин, орієнтовані на підтримку безперервного циклу. Таких циклів може бути кілька – один відповідає за проходження по основному маршруту, інший – за подолання перешкод і т. д. Крім того, на апаратному рівні кожен цикл може підтримуватись датчиками різних типів і різних принципів дії, що формують потоки даних різного обсягу та інтенсивності. В результаті робот починає “губитися” в складній ситуації й на довгих маршрутах, коли треба не просто обходити дрібні перешкоди та ухилитися

від небезпек на відносно прямому шляху, а й планувати довгострокові дії на стратегічному рівні та виконувати ряд допоміжних завдань, які досить трудомісткі самі по собі. Тому сучасні системи навігації поєднують механізми як низькорівневого керування, так і високорівневого планування [5]. Проблеми, безпосередньо пов'язані з рухом на поточному короткому відрізку маршруту, вирішуються шляхом простого реагування на особливості зовнішнього середовища, а глобальна система стежить за дотриманням загального плану, модифікуючи його у разі потреба, і синхронізує роботу всіх підлеглих структур керування. Під час побудови системи навігації роботів виникає чимало технічних складностей. Розглянемо їх докладніше.

1. Щоб рухатись до цілі, роботу слід сформувавши досить точний образ навколишнього його простору. Сьогодні це досягається переважно використанням лазерних далекомірів та ультразвукових генераторів (сонарів). Однак лазерний промінь допоможе одержати образ середовища тільки у зоні прямої видимості. Крім того, на шляху променя часто виникають дрібні перешкоди, які вносять похибки у такий образ. А ультразвукові датчики характеризуються більшим часом відгуку (якщо робот перебуває на великому й відкритому просторі), порядку десятків часток секунди, що не дозволяє роботу переміщатися швидко. Швидкість звуку в різних умовах також може змінюватись, впливаючи на точність оцінки відстані, в результаті у "голові" робота спотворюється загальна картина навколишнього середовища. Створення тривимірних карт за допомогою лазерів у масштабі реального часу ще більш важко і, як мінімум, вимагає істотних обчислювальних потужностей, які поки не вдається втілити у вигляді компактних бортових плат. З цих причин цінність інформації, що надходить від бортових датчиків, невелика. МРС необхідно перевести її у формальний і структурований "словесний" опис світу (задача розпізнавання). Найбільший ефект тут обіцяють дати системи машинного зору, але вони також ще недосконалі [6]. Разом з тим даний недолік вже усунуто у проектах, де роботи діють у будинках та у будь-якій іншій визначеній обстановці.

Перспективною ідеєю виявилось зберігання у пам'яті машини повної карти місцевості. Зазвичай вона представляється у геометричному (дуже докладно, але й дуже об'ємно) або топологічному (компактно, умовними позначками, менш докладно) вигляді. Найкращий результат дають тривимірні карти, однак їх зберігання й обробка бортовою системою робота ускладнені: потрібні занадто великі за сьгоднішніми мірками обчислювальні ресурси. І найголовніше, роботу далеко не завжди вдається правильно визначити своє реальне місцезнаходження на такій карті.

Ведеться безліч дослідницьких робіт з навчання автономних апаратів методам самостійної побудови карт місцевості. Ця область активно фінансується військовими, зацікавленими у автоматизації процесів побудови карт будь-якої області Землі. Поки ці дослідження не мають серйозних практичних втілень у системах реального часу. Основна причина цього полягає не стільки у недосконалості алгоритмів, скільки у відносно повільних бортових процесорах.

2. Під час руху робот повинен швидко й точно керувати двигуном і положенням коліс. Деякі завдання робототехніки в принципі не допускають точного рішення (це наприклад, задача керування крутним моментом електродвигуна таким чином, щоб робот неухильно дотримувався маршруту). В інших завданнях, пов'язаних з динамікою руху роботів (область теоретичної механіки), до знаходження відповіді ще дуже далеко, а пошук наближених коефіцієнтів, які визначають параметри руху, потребує від бортового пристрою постійного розв'язання систем диференціальних рівнянь. Тому тут мають місце складності тут як технічні, так і теоретичні.

3. Робот повинен знати своє реальне поточне місцезнаходження, а воно майже завжди відрізняється від того яке зберігається в бортовій системі. Визначення власних координат – фундаментальне завдання навігації, відповідь на яку цікавить не тільки робототехніків, а й фахівців з інших областей – насамперед космічної, авіаційної та автомобільної [7].

Підхід до розв'язання поставленої задачі

Враховуючи основні задачі, що мають місце під час керування мобільними робототехнічними системами та складності, що виникають при цьому, на сьгоднішній день розроблено досить багато підходів та алгоритмів на їх основі. Проте багато з цих підходів засновані на плануванні всього маршруту подолання перешкод перед початком руху (процедури пошуку на графах – пошук в ширину, в глибину, алгоритм A^* і т. д.) [4] і для раціонального та достатньо швидкого керування МРС вони є недоцільними. Це пов'язано, перш за все, з тим що траєкторія руху робота за існуючим заздалегідь маршрутом буде відхилятися від заданої, внаслідок впливу зовнішніх факторів (наприклад, коефіцієнт тертя, заряд акумулятора тощо) на координаті руху.

Створення апарату нечіткої логіки (НЛ) виводить поставлену задачу з тупикового шляху розвитку, який базувався на "жорстких" алгоритмах, які були недієздатні і робили багато помилок при роботі в реальному часі та реальних умовах. Так як і для людини не існує чіткої границі між термінами „далеко” і „близько” або „приваблива” і „неприваблива”. Саме експертна система, яка працює згідно аналогії людського мозку може робити висновки про нечітко визначені терміни такі як „близько”, „далеко” і т. д.

Тобто доцільно реалізувати підхід, орієнтований на нечітку логіку, який здатний здійснювати коригування стратегії керування в процесі руху [8].

Для розв'язання поставленої вище задачі необхідно провести ряд експериментальних досліджень. При цьому для кожної МРС дослідження слід проводити індивідуально, в залежності від функціональності та параметрів руху мобільного робота. Підхід визначення траєкторії руху мобільного робота до цілі через нерухомі перешкоди доцільно розкласти на дві взаємозалежні задачі: “об’єкт-ціль” та “об’єкт-перешкода”. Під об’єктом розуміється мобільний робот. На (рис.1) цифрами 1 та 2 відповідно позначена дія цих процедур в залежності від розташування об’єкта в даний проміжок часу. Активація процедури “об’єкт-перешкода” здійснюється за умовою досягнення певної відстані об’єкта і перешкоди. Реальна відстань D між центрами об’єкта та перешкоди може бути визначена за формулою (1):

$$D = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2}, \quad (1)$$

де x_m, y_m – координата об’єкта; x_n, y_n – координата перешкоди.

Потім вона порівнюється з константним значенням d – яке дозволяє нам порівняти відстані для того, щоб вчасно відреагувати, коли перешкода буде досить близько. Саме коли $D < d$ відбувається переключення на процедуру „об’єкт-перешкода”. Тобто перша процедура передає керування і чекає доки друга виконає виконання своєї задачі. Виконання даної задачі відбувається за рахунок подачі відповідних сигналів на приводи робота для подолання перешкоди, після чого відбувається перевірка умови і перехід на попередню, головну процедуру – “об’єкт-ціль”. Таким чином, після виконання ряду процедур запропонованого підходу ціль буде досягнуто.

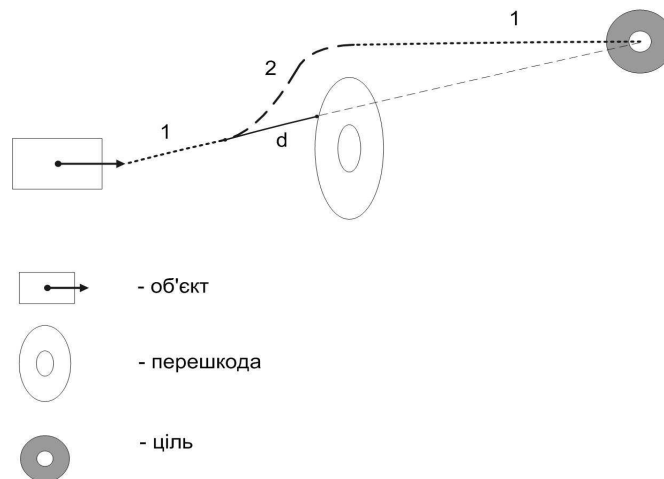


Рис.1 - Схематичне зображення руху мобільного робота при подоланні перешкоди

Алгоритм реалізації запропонованого підходу

На основі запропонованого підходу було розроблено алгоритм, який представлено на (рис. 2). Задача розбивається на модулі для того щоб з легкістю додавати, редагувати та вдосконалювати частини програми. Так наприклад модуль 1 (рис. 2) може бути окремою програмою яка обробляє потоки вхідних та вихідних даних. Модулі 2-5 є ядром системи подолання перешкод та зазвичай розробляються як єдине ціле.

Задача подолання перешкод є одна з основних підзадач для визначення руху до цілі. Для розв'язання задачі подолання перешкод буде застосовуватись алгоритм “об’єкт-перешкода” із застосуванням нечіткої логіки [8]. Введемо дві лінгвістичні змінні: ДИСТАНЦІЯ (відстань від робота до перешкоди) і НАПРЯМОК (кут між подовжньою віссю робота та напрямком на перешкоду). Розглянемо лінгвістичну змінну ДИСТАНЦІЯ. Значеннями її можна визначити терми „ДАЛЕКО”, „СЕРЕДНЬО”, „БЛИЗЬКО” та „ДУЖЕ БЛИЗЬКО”. Для фізичної реалізації лінгвістичної змінної необхідно визначити точні фізичні значення термів цієї змінної. Нехай змінна ДИСТАНЦІЯ може приймати будь-які значення з діапазону від нуля до нескінченності. Відповідно до теорії нечітких множин, у такому випадку кожному значенню відстані із зазначеного діапазону може бути поставлено у відповідність деяке число від нуля до одиниці, що визначає ступінь приналежності даної фізичної відстані. Це значення для кожної мобільної робототехнічної системи має бути встановлено людиною-експертом.

Результати експериментів

Авторами було проведено ряд експериментів, що дали змогу з'ясувати який підхід є кращим. Основним критерієм для визначення оптимального підходу обрано час від початку руху до досягнення роботою цілі при подоланні перешкод. Для порівняння було обрано раніше розроблений підхід, який використовує алгоритм пошуку в ширину. Враховуючи експериментальні дані, які були отримані в результаті дослідів (рис.4) при однакових умовах для кожного підходу, а саме взаємне положення цілі, об'єкта, перешкод до початку виконання, поверхня пересування, заряд акумулятора, ступінь освітленості, видно, що саме використання нечітких множин є кращим, а саме:

- 1) відхилення значень часу при однаковій кількості дослідів менша, що зменшує середній час руху робота;
- 2) мінімальне значення часу є меншим, що є основним критерієм;
- 3) ймовірність того, що робот досягне цілі більша, тому-що у випадку відхилення від заданого маршруту, останній буде скориговано на наступному кроці (на рис. 4 розриви ламаної означають те, що у конкретному досліді робот зовсім не зміг дістатись цілі).

Таблиця 1

Нечіткі правила
Дистанція

		<i>дуже близько</i>	<i>близько</i>	<i>середньо</i>	<i>далеко</i>
Напрямок	<i>правий</i>	різко праворуч	різко ліворуч	ліворуч	прямо
	<i>прямий</i>	різко ліворуч (різко праворуч)	ліворуч (праворуч)	ліворуч (праворуч)	прямо
	<i>лівий</i>	різко праворуч	різко праворуч	праворуч	прямо

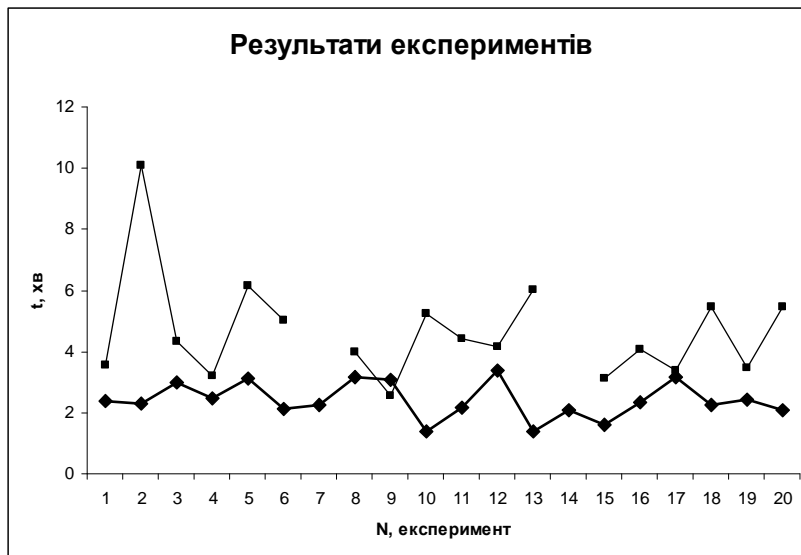


Рис. 4 - Порівняння швидкості подолання перешкод МРС за двома підходами (товста ламана – результати роботи підходу, який використовує нечітку логіку).

Перспективи розвитку

По-перше, існує не тільки зовнішня аналогія між робототехнічними змаганнями та автомобільними перегонами. Розробники гоночних моделей, як правило, є лідерами науково-технічного прогресу у своїй галузі промисловості. Найгостріша конкуренція та екстремальні умови змагань створюють ідеальні умови для апробації науково-технічних новинок.

По-друге, в останнє десятиліття в промислово розвинених країнах спостерігається певне падіння інтересу молоді до технічних спеціальностей. Природною реакцією суспільства на цю тенденцію стала відповідна реклама високих технологій, що здійснюється у широких масштабах при державній підтримці й активному спонсоруванні великими компаніями. Такою рекламою стали змагання роботів, у яких крім спортивного велике значення мають видовищні елементи, що використовують технології сучасного шоу-бізнесу й роблять чималий психологічний вплив на молоде покоління. Під час цих змагань зазвичай проводяться показові виступи мобільних роботів і демонстрація новітніх робототехнічних систем. Організатори цих шоу враховують, що сучасні мас-медіа привчили нові покоління до яскравої рекламної подачі інформаційних матеріалів, а спортивний дух став стрижнем способу життя здорової молоді.

Висновки

Для розв'язання задачі подолання перешкод мобільним роботом авторами запропоновано новий підхід з використанням нечітких множин, сутність якого полягає в тому, що він, на відміну від існуючих, дозволяє зменшити час досягнення цілі мобільним роботом за рахунок застосування стратегії керування під час його руху.

Запропонований підхід має такі переваги:

- 1) використання експертної системи дозволяє суттєво підвищити гнучкість пересування робота;
- 2) алгоритм працює в реальному часі, що дозволяє долати перешкоди по реальній місцевості, незважаючи на похибки пересування робота;
- 3) запропоновано використовувати таблицю нечітких правил, яка дозволяє легко змінювати параметри людині-експерту.

Отже, мобільний робот з нечіткою логікою буде працювати із застосуванням даного підходу так:

- 1) дані з сенсорів про відстань до перешкоди та напрямок до неї будуть фазифіковані;
- 2) отримана інформація буде оброблена згідно табличних правил;
- 3) на приводи робота будуть надходити дефазифіковані дані та дані, що отримані у вигляді керуючих сигналів.

Література

1. Каляев И. К. Многопроцессорные распределенные системы управления интеллектуальных мобильных роботов. (http://mobilrobots.narod.ru/alg/robot1_1997_4.pdf)
2. Сосулин Ю. Г., Фан Чун Зунг. Метод инвариантного нейросетового распознавания двумерных изображений // Радиотехника и электроника. – 2004. – том 49. – № 5 – с.595-601.
3. Заединов Р. В., Михайлов Б. Б. Идентификация объектов и определение их пространственного положения с помощью бортовой системы технического зрения // VIII научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника». – ГНЦ. – ЦНИИ РТК. – СПб. – 1998. – 128 с.
4. Месюра В. І., Ваховська Л. М. Основи проектування систем штучного інтелекту. – Вінниця: ВНТУ. – 2001. – 63 с.
5. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне. – 1990. – 184 с.
6. Пленкин В. Я., Орлов А. П. Анализ возможностей повышения надёжности распознаваний изображений с использованием Вайвлет-преобразования // Радиоэлектроника. – 2003. – №1. – с. 35.
7. Максимов А. PC Week/RE // Ск Пресс. – № 5. – 2004. – 31 с.
8. Волхонський Д. А., Никитюк О. В. Система навігації мобільного робота // Тези студентських доповідей, рекомендованих до опублікування оргкомітетом XXXIV науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково дослідницьких організацій та інженерно технічних працівників підприємств м. Вінниці та області. – Вінниця, 2005. – с. 36.

Арсенюк Ігор Ростиславович, к.т.н., доцент, доцент кафедри інтелектуальних систем, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021, Тел.: 8(0432) 43-78-80, E-Mail: air@vstu.vinnica.ua

Волхонський Денис Анатолійович, студент гр. ІІС-01 кафедри інтелектуальних систем, Вінницький національний технічний університет, вул. Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна, 21021, E-Mail: volhonsky@mail.ru