

1. Фізіолого-біохімічні особливості живлення рослин біологічним азотом / С.Я.Коць, С.М.Маліченко, О.Д.Кругова. – К.: Логос, 2001. – 272 с.
2. ОСТ 46 140-83 Излучение оптическое. Оценка фотосинтезной эффективности. Термины и определения.
3. А. С. № 124669 (СССР). Способ оценки действия оптического излучения на растения / И.И. Свентицкий. Б.И. – 1959. - № 23.
4. Свентицкий И.И. Оценка фотосинтезной эффективности оптического излучения // Светотехника. – 1972. - №4. - С.23-24.
5. Хазанов В.С. О фитотометрической оценке излучения // Светотехника. – 1978. - №5. - С.24-26.
6. Лисовский Г.М., Прикупец Л.Б., Сарычев Г.С., Сыдько Ф.Я., Тихомиров А.А. Экспериментальная оценка эффективности источников света в светокультуре растений // Светотехника. - 1983. - № 4 - С.7-9.
7. Вассерман А.Л., Квашин Г.Н., Малышев В.В. Об оценки эффективности действия источников излучения на растения // Светотехника. - 1986. - № 7 - С.14-15.
8. Казенас В.Ю. Биотометрический контроль облучения растений// Светотехника. - 1993. - № 8. - С.1-3.
9. Айзенберг Ю.Б. Проблема энергосбережения в осветительных установках // Светотехника. - 1998. - № 6. - С.11-18.
10. Вайнер Б.Г., Зонневельдт Л. Энергетические аспекты освещения зданий // Светотехника. - 1996. - №9. - С.25-28.
11. Слейтер А.И. Об энергоэффективности внутреннего освещения // Светотехника. - 1996. - № 42. - С.7-10.
12. Кунгс Я.А., Михеев И.А. Технично-економическое сопоставление облучательных установок защищенного грунта // Светотехника. - 2000. - № 6. - С.38-39.
13. Малышев В.В. О возможности оценки количественных критериев разнспектральных ламп для растениеводства по световым параметрам // Ассоциация "Теплицы России". Информационный сборник. - 1999. - № 2. - С 19.
14. Андрійчук В.А., Дворницький В.М., Костик Л.М. Автоматизований метод визначення фотосинтезного потоку та коефіцієнта корисної дії джерел випромінювання // Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. - 1996. - №2. - С.116-121.
15. Андрійчук В.А., Костик Л.М. Оптимізація джерел випромінювання опромінюючих установок для рослинництва закритого ґрунту // Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Спеціальний випуск "Проблеми економії енергії". - 1998. - №1. - С.81-84.

Одержано 22.05.2007 р.

УДК 681.3.5

О. Адамів

Тернопільський національний економічний університет

МЕТОД НАВІГАЦІЇ МОБІЛЬНОГО РОБОТА В НЕСТРУКТУРОВАНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

На основі аналізу методів глобальної та локальної навігації автономним мобільним роботом виділено основні недоліки існуючих методів навігації. Запропоновано метод навігації, що базується на використанні методу потенційних полів з переміщенням до цілі, враховуючи градієнт напрямку до цілі. Також в методі передбачено обхід блокуючих перешкод, що дозволяє мобільному роботу виходити з локальних мінімумів (туликів) з контролем повернення на попередню траєкторію руху. Проведено імітаційне моделювання та дослідження запропонованого методу на реальній базі мобільного робота Robotino, що підтвердило виконання критерію виходу на ціль в неструктурованому середовищі.

O.Adamiv

THE METHOD FOR MOBILE ROBOT NAVIGATION IN THE UNSTRUCTURED ENVIRONMENT

The analysis of global and local navigation methods for an autonomous mobile robot allowed to select the main lacks of existent methods of navigation. The local navigation method based on the use of potential fields for movement taking into account the gradient of direction to the goal is proposed. Also the round of blocking obstacles is foreseen in a method. That allows to the mobile robot to go out from local minimums (deadlocks) with the control of returning on the previous trajectory of movement. The imitation design and research of the proposed method is conducted on the real base of the mobile robot Robotino, which confirm the reaching to the goal in the unstructured environment.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Середовище функціонування автономного мобільного робота (АМР) можна розділити на два типи: структуроване (наперед відоме) та неструктуроване (складне, наперед невідоме середовище) [1]. В залежності від середовища функціонування виділяють методи глобальної та локальної навігації. Якщо середовище є наперед відоме і задана ціль лежить в межах відомого середовища, то для навігації мобільного робота застосовують методи глобальної навігації. Якщо ж середовище є наперед невідомим або перед роботом ставиться задача дослідження середовища, в даному випадку застосовуються методи локальної навігації до цілі, що використовують лише локальну інформацію про середовище функціонування, отриману з допомогою методів побудови локальної карти середовища.

Існує багато реалізацій систем керування АМР, що використовують методи глобальної навігації [2-8]. Зокрема, методи Видимого графа (Visibility Graph) [2,3], Діаграм Вороного [4,5], Дерева Квадратів (Quartrees) [6, 7], Фронту хвилі (Wave Front) [8]. Загалом алгоритм роботи методів глобальної навігації складається з двох етапів:

- 1) планування траєкторії руху мобільного робота;
- 2) безпосереднє переміщення до цілі, використовуючи інформацію про необхідну траєкторію, отриману на першому етапі.

Проаналізувавши відомі методи глобальної навігації, можна виділити ряд недоліків, що виникають при їх застосуванні:

- значна обчислювальна складність методів при великих картах середовища та при наявності багатьох перешкод;
- необхідність досить часто проводити процедуру локалізації, що зумовлено неточностями сенсорної та одометричної системи робота, але це є окрема задача, що в цілому приводить до ще більшої обчислювальної складності.

Тому слід використати більш прості, з обчислювальної точки зору, методи, як наприклад, методи локальної навігації.

На противагу методам глобальної навігації методи локальної навігації для переміщення робота до заданої цілі використовують інформацію, отриману з допомогою сенсорів. В цьому випадку глобальна карта середовища є недоступною або ж середовище є достатньо неструктурованим чи в ньому присутня велика кількість динамічних перешкод, при цьому застосування методів глобальної навігації стає неможливим.

Найбільш відомий метод локальної навігації, що базується на використанні інформації про середовище, отриманої від сенсорів, є BUG. На даний час існує велика кількість його модифікацій PolarBUG [9], VisBUG [10], FuzzyBUG [11]. Ще одним підходом, що використовується в методах локальної навігації, є застосування потенційних полів (Potential Fields) об'єктів в середовищі [12].

Провівши аналіз методів локальної навігації, можна виділити наступні недоліки їхнього використання:

- більша проблема локалізації робота у порівнянні з методами глобальної навігації;
- відхилення від оптимального маршруту;
- досягнення локального мінімуму (блокуючі перешкоди);
- зациклення (кружляння по одній і тій же траєкторії) при спробі вийти із локального мінімуму.

Проведений аналіз відомих методів глобальної та локальної навігації показав, що на сьогоднішній день відсутні технічні рішення, що дозволяють АМР безперешкодно виходити на ціль при незначних змінах середовища при глобальній навігації та при наявності тупикових ситуацій при локальній навігації, що приводить до необхідності удосконалення існуючих методів.

ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД НАВІГАЦІЇ

Для визначення напрямку руху запропоновано використати обчислення значення функції вартості в альтернативних точках переміщення на наступному кроці відносно до цілі переміщення $A(Dist)$. При цьому відстань до цілі $G(X,Y,\alpha)$, для кожної із N альтернативних точок переміщення $T_i(X,Y,\alpha)$ буде обчислюватись наступним чином:

$$Dist = \sqrt{(T_i x - G_x)^2 + (T_i y - G_y)^2} \quad , \quad (1)$$

Напрямок руху вибирається із альтернативи рішень, де значення функції вартості відстані до цілі є найбільшим $\max(F(Dist))$.

В разі появи перешкод при переміщенні АМР для кожної перешкоди встановлюється потенційне поле та функція вартості відстані до перешкоди (рис 1.). З наближенням до перешкоди значення функції зростає. Також потрібно встановити критичне значення мінімальної відстані до перешкоди $Obst_Dist_Critical$, що визначається технічними специфікаціями робота, та відстані Non_Dang_Dist , на якій перешкода не впливає на рух АМР до цілі. Такий підхід дозволить АМР безпечно рухатись до цілі, не зіштовхуючись з перешкодами, а також мати достатній простір для проведення маневрів.

Формалізацію обчислення функції вартості перешкоди представлено у 2.

$$F(Obst_Dist) = \begin{cases} Obst_Dist < Obst_Dist_Critical, 1000 \\ Obst_Dist_Critical \leq Obst_Dist \leq Non_Dang_Dist, k * obst_Dist + b \\ Dist_Obst > Non_Dang_Dist, 0 \end{cases} \quad , \quad (2)$$

де k і b – коефіцієнти рівняння прямої.

Якщо АМР попадає в область дії потенційних полів перешкоди чи декількох перешкод, то напрямок руху вибирається за максимальним значенням функції вартості.

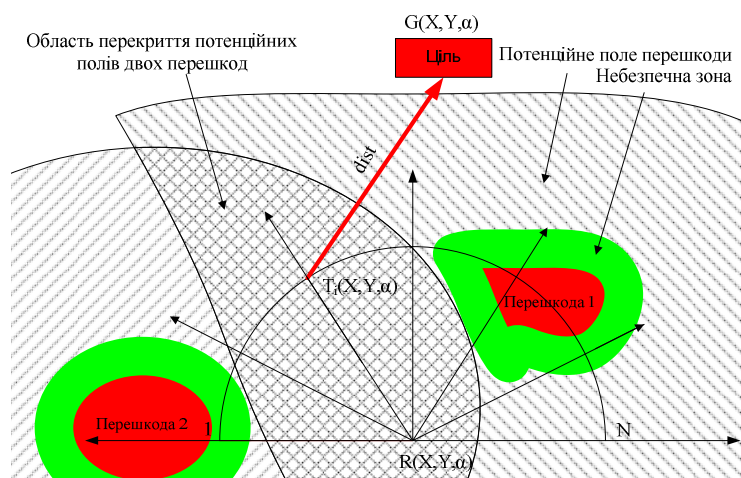


Рисунок 1 - Графічне представлення впливу потенційних полів двох перешкод

В залежності від технічних особливостей мобільного робота значення функції вартості може змінюватись, що дозволяє врахувати розміри та маневреність робота (рис.2).

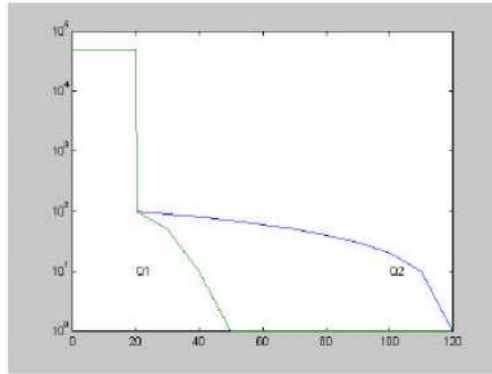


Рисунок 2 – Графічне представлення функції вартості перешкоди

Для визначення сумарного значення функції вартості використано метод найменших квадратів для визначення оптимального шляху переміщення при впливі на рух АМР двох і більше перешкод:

$$F_{Sum_{T_i}} = F(Dist_{T_i})^2 - \sum_{j=1}^N F(Obst_Dist_j^{T_i})^2, \quad (3)$$

Напрямок руху АМР вибирається за максимальним значенням сумарної функції вартості з усіх альтернативних точок переміщення:

$$\max(F_{Sum_{T_i}}), \quad (4)$$

Якщо ж при переміщенні АМР виникне ситуація, коли відстань до цілі на наступному кроці переміщення буде більшою $Dist_i < Dist_{i-1}$ ніж відстань на попередньому кроці, чи відстань до перешкоди дорівнюватиме $Obst_Dist_Critical$, при цьому значення функції вартості перешкоди буде рівне $F(Obst_Dist) = 1000$. В такій ситуації потрібно переходити до етапу обходу перешкод по периметру.

Рух по периметру відбувається при дотриманні мінімальної відстані до перешкоди $Obst_Dist_Critical$, при цьому значення функції вартості відстані до перешкоди повинно бути максимальним із альтернативних точок переміщення $\max(F(Obst_Dist_{T_i}) < 1000)$.

Напрямок можливого руху визначається з допомогою градієнта до цілі із всіх доступних напрямків обходу перешкоди.

На кожному кроці етапу обходу перешкод по периметру перевіряється умова, чи кут $0 < 90$ градусів (рис.3а): якщо ні - то продовжується етап обходу перешкоди, якщо так (рис.3б), тоді додатково перевіряється умова переходу до першого етапу навігації. Якщо відстань до цілі з поточної позиції АМР є меншою, ніж сумарна відстань до цілі (рис.3б) з наступної точки переміщення на етапі обходу перешкод та шляхом, який витрачається на проходження кроку підсистемою маневрів $RG < RM + MG$, то відбувається перехід до першого етапу. Звичайно можлива ситуація, що зображена на рисунку 4в, при цьому значення кута $0 < 90$ градусів, але перехід на перший етап навігації не відбувається, оскільки відстань RG , використовуючи градієнт, побудована по вектору, що проходить через перешкоду. Такий варіант відкидається, оскільки градієнт потрібно обирати тільки з усіх можливих варіантів напрямку руху.

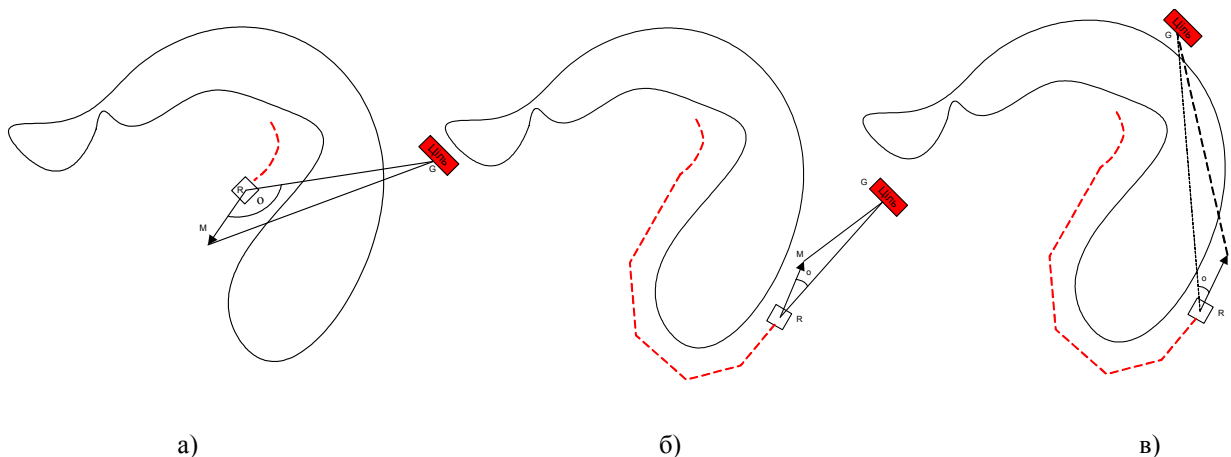


Рисунок 3 - Обхід перешкод по периметру
 а) і в) умова виходу з етапу не виконується; б) умова виходу з етапу виконується

Можлива ситуація, коли АМР може потрапити в попередні позиції (рис.4), при цьому доцільно зберігати координати попереднього етапу обходу перешкоди. Якщо ж наступний крок переміщення попадає в позицію, через яку робот проходив на попередньому етапі обходу перешкод $P \in M$, тоді напрямок обходу перешкод змінюється на протилежний, що забезпечує вихід на ціль.

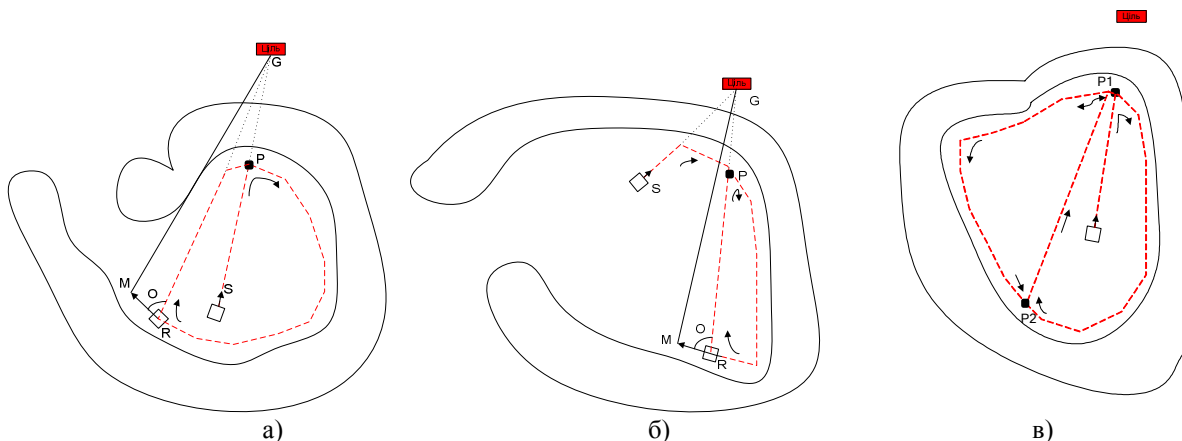


Рисунок 4 - Повторне попадання на траєкторію руху
 а) і б) вихід із блокуючих перешкод; в) тупикова ситуація

У випадку, коли АМР, змінивши напрямок руху обходу перешкод у точці P1, потрапляє у точку P2, що належить траєкторії попереднього обходу, переміщення припиняється, оскільки АМР попадає у закритє середовище, з якого немає виходу (див рис 4.в).

Таким чином, реалізація методу навігації складається з двох основних етапів:

- Слідування до цілі, використовуючи градієнт напрямку до цілі та значення функції вартості до перешкод;
- Обхід перешкоди по периметру.

Оцінка ефективності запропонованого методу навігації здійснена експериментальним дослідженням і проводилась за критерієм виходу на ціль.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою дослідження розробленого методу навігації використано програмний симулятор мобільних роботів компанії ActivMedia MobileSim, що дозволяє проводити дослідження методів навігації з різними базами мобільних роботів Pioneer 1, Pioneer AT, Pioneer 2™ -DX, -DXe, -DXf, -CE, -AT, Pioneer 2™-DX8/Dx8 Plus і -AT8/AT8 Plus, а також новими розробками Pioneer 3-DX і -AT [13]. Для побудови карти середовища

використано продукт компанії ActivMedia Mapper3, що дозволяє побудувати статичне середовище з визначенням початкового положення робота та координат цілі.

Результати імітаційного моделювання запропонованого методу навігації представлено на рисунку 5.

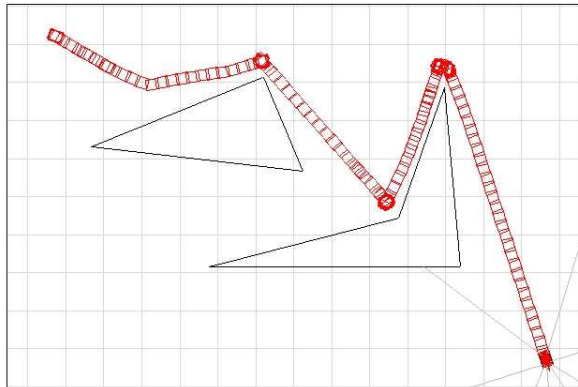


Рисунок 5



Рисунок 6

Рисунок 5 – Результати імітаційного моделювання запропонованого методу
Рисунок 6 - AMP Robotino

З метою дослідження методу на реальній платформі AMP, було використано AMP Robotino (рис.6) компанії FESTO [14], що дозволило дослідити даний метод в середовищі з динамічними перешкодами.

Висновки. Запропонований метод локальної навігації дозволяє виконати критерій виходу на ціль при переміщенні AMP в складному неструктурованому середовищі, а також проводити навігацію при появі динамічних перешкод чи перешкод, що не відображаються на глобальній карті середовища. Якщо використовувати в даній ситуації відомі методи глобальної навігації, то вони не зможуть забезпечити вихід на ціль при появі перешкод, що не зображені на глобальній карті середовища. Перевагою над локальними методами навігації є можливість виходу з локальних мінімумів, що забезпечується другим етапом методу, а саме етапом обходу перешкод по периметру.

Література

1. Kortenkamp D., Bonasso R., Murphy R. Artificial Intelligence and mobile robots, Case Studies of Successful Robot Systems. AAAI Press/ The MIT Press, 1998. 400 p.
2. MRIT: Mobile Robotics Interactive Tool. Technical Report- Sevilla, Spain.-2000, 34 p.
3. I.Kamon, E. Rimon, E.Rivlin A new range-sensor based globally convergent navigation algorithm for mobile robot. Technical Report 1995. 28 p.
4. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и её применение. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2002.–128 с.
5. Алгоритмы триангуляции // Информационные системы. Нижний Новгород у-т, 1999. – 154 с.
6. Vörös, J. (). Low-cost implementation of distance maps for path planning using matrix quadtrees and octrees // Robotics and Computer Integrated Manufacturing. -2001, Vol. 17.- pp. 447-459.
7. <http://gamedmaker.webservis.ru/articles/quartree> Что такое Quadtrees ?
8. Konolige K. A gradient method for real-time robot control // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2000.
9. Graf, B., Hostalet Wandosell, J. M.: “Flexible Path Planning for Nonholonomic Mobile Robots.” Proc. Of International Conference Eurobot’01. – 2001-123-128 p.
10. Entertainment Robotics: Examples, Key Technologies and Perspectives, Birgit Graf, Oliver Barth, 2002, 34p.
11. W.B.Tong Paul Cohen A Smart FuzzBug in an Unknown Environment/ Fuzzy Sytem, Vol.1, 1998, 14-23p.
12. Qun Li, Michael DeRosa, and Daniela Rus, “Distributed algorithms for guiding navigation across sensor networks,” in MOBICOM, 2003. MobiCom’03, September 14–19, 2003, San Diego, California, USA.
13. Team AmigoBot-SH Operations Manual, ActivMedia Robotics, LLC, 2005 – 53p.
14. www.festo-didactic.com

Одержано 08.05.2007 р.