

ПРОБЛЕМИ ВИМІРЮВАНЬ В НАРОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

УДК 621.855.8

МОДЕЛЮВАННЯ І КЕРУВАННЯ РУХОМ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА В ЧАСТКОВО НЕВІДОМОМУ ОТОЧЕННІ

© Петро Мокренко, Едуард Павлюк, Сергій Юриш, 2000

Національний університет "Львівська політехніка", кафедри "Автоматика та телемеханіка", "Електронно-обчислювальні машини", вул.С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглянуто питання керування рухом автономного мобільного робота на площині в частково невідомому оточенні. Елементи навколишнього простору можуть бути як статичними, так і динамічними.

Особливість поведінки робота – це його спроможність накопичувати відомості про довкілля і використовувати цю інформацію для розрахунку траєкторії. Співвідношення між невідомими і відомими елементами довкілля може з часом змінюватися. Робот ніби набуває досвіду роботи на даному оперативному просторі, краще орієнтується в ньому.

Рассматриваются вопросы управления движением автономного мобильного робота на плоскости в частично неизвестном окружении. Элементы окружающего пространства могут быть как статическими, так и динамическими. Особенностью поведения робота является его способность к накоплению сведений об окружающем пространстве и использование этой информации для расчета траектории. Соотношение между неизвестными и известными элементами окружающей обстановки может с течением времени изменяться. Робот как бы приобретает опыт работы в данном оперативном пространстве, лучше ориентируется в нем.

The questions of motion control of the autonomous mobile robot on plane in artially unknown encirclement are considered in the Paper. The elements of environmental space can be static as well as dynamic. Ability to accumulate information about the environmental space and use this information for trajectory calculation are the features of robot behavior. The relationship between unknown and known elements of environmental conditions can be changed with the current of time. The robot acquires the experience of work in the given operative space and is better guided in it.

Вступ

За останні роки зріс інтерес до автономних мобільних роботів, про що свідчать численні статті та доповіді на симпозіумах і конференціях з даної тематики [1-3].

У цій роботі розглядаються такі питання:

- визначення траєкторії руху з обходом відомих перешкод;
- визначення напрямку руху для обходу перешкод, які несподівано виникли;
- побудова математичної моделі мобільного робота;
- розробка і оптимізація алгоритму керування автономним мобільним роботом.

На рис. 1 схематично зображено блок-діаграму робота, де показано: координати (x, y) , що визначають положення центру обертання робота; φ – кут фактичного напрямку; v – швидкість руху вперед; ω – швидкість зміни напрямку; ψ – кут розрахункового напрямку. Робот має два ведучі колеса з незалежними приводами, а третє колесо є опорним. На рис. 2 наведена загальна схема алгоритму керування рухом. У блоці "Navigator" розраховується напрямок руху робота. Вхідною інформацією цього блока є: а) інформація про ціль руху ТМ (наприклад, координати цілі); б) інформація про відомі перешкоди М, відомості про які зберігаються в пам'яті бортового комп'ютера; в) інформація про довкілля, яка надходить від сенсорів S.

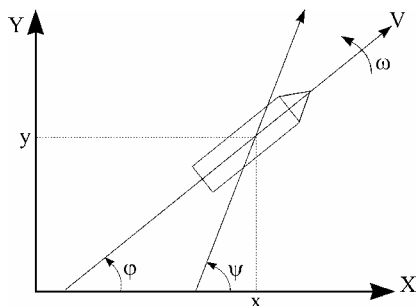


Рис 1. Блок-діаграма роботи

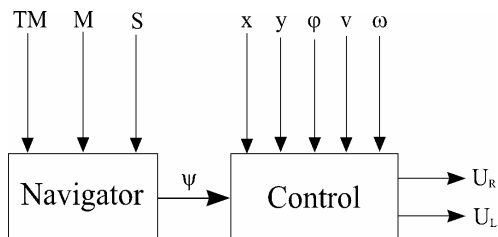


Рис 2. Блок-діаграма алгоритму керування

Блок "Control" розраховує керуючі впливи U_R і U_L , які подаються на приводи правого і лівого коліс. Вхідними даними цього блока є: а) кут розрахункового напрямку, визначений у блоці "Navigator"; б) координати робота; в) кут фактичного напрямку його руху; г) швидкості поступального й обертального рухів. Ці параметри розраховуються на основі даних, що надходять від сенсорних пристроїв. Нами проведено експерименти з розрахунку траєкторії і моделювання руху робота, для яких використовувалася математична модель робота. Вхідні дані блока "Control" – координати, напрямок руху і швидкості визначалися під час розв'язання рівнянь математичної моделі, загальна схема моделювання якої наведена на рис. 3.

Для одержання інформації про відомі і несподівані перешкоди використовувалась модель навколишнього простору (Surroundings Model).

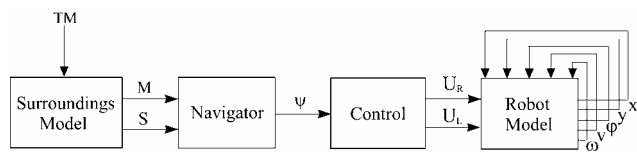


Рис 3. Блок-діаграма загального моделювання

Розрахунок траєкторії руху робота з обліком відомих перешкод

Алгоритм розрахунку траєкторії, що з'єднує початкову точку s з кінцевою точкою f , наведений на рис. 4,а.

Спочатку точка a сполучається з точкою s , точка b з точкою f . Надалі визначаються перешкоди, що знаходяться між точками a і b . Якщо перешкоди є, то з них вибирається та, яку найважче обминути. На ній відзначається точка обходу i з нею сполучається точка b . Якщо ж між точками a і b немає перешкод і b збігається з f , то всі точки обходу визначені. За цими точками знаходять проміжні пункти, відсунуті від точок обходу на безпечну відстань. На цьому робота алгоритму закінчується. Якщо між точками s і f немає відомих перешкод, то знайдена за допомогою даного алгоритму траєкторія є прямою, яка з'єднує ці точки.

Розрахунок траєкторії за наявності невідомих перешкод

Розрахована траєкторія може перетнутися з перешкодою, відомостей про яку в пам'яті бортового комп'ютера немає, або пройти неприпустимо близько від неї. У тому й іншому випадках робот коригує траєкторію так, щоб пройти на безпечній відстані від такої перешкоди. Для розв'язання цієї задачі служить алгоритм уникнення роботом несподіваних перешкод. Цей алгоритм наведено на рис. 4,б, де: D – відстань до перешкоди, виміряна лазером; D' – відстань до найближчої відомої перешкоди в тому самому напрямку; C_1, C_2 – точки обмеження перешкоди; d – відстань від траєкторії до вказаної перешкоди; d_{min} – мінімальна відстань від траєкторії до перешкоди; C – точка обходу перешкоди; g – відстань між перешкодами; N_{ab} – кількість перешкод між точками a і b ; s, f – початок і кінець.

Вхідні дані цього алгоритму надходять від сенсорів, які знаходяться на борту робота. Періодично обновляючись, ці дані записуються в пам'ять комп'ютера, визначаючи напрямок і відстань до найближчої в цьому напрямку перешкоди.

Координати крайніх точок перешкоди, що виникла на шляху, записуються в пам'ять, поповнюючи інформацію про довкілля. Одна з цих точок приймається

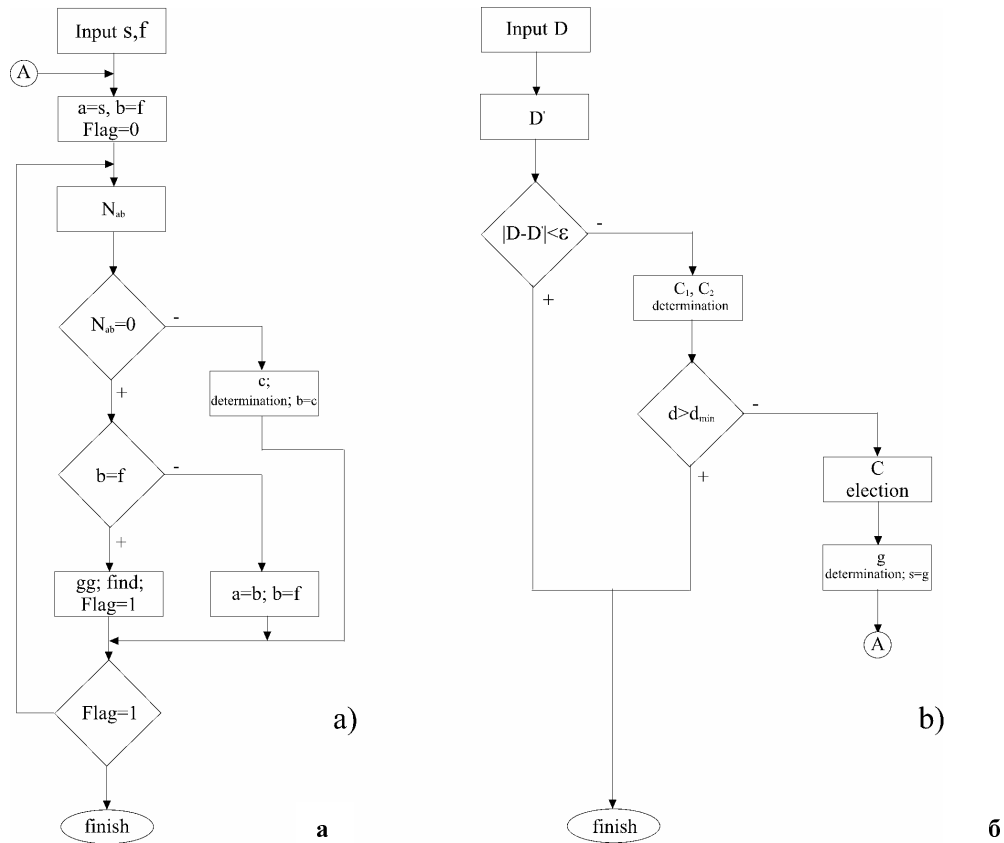


Рис 4. Алгоритм обчислення траєкторії з обліком відомих перешкод (а) і алгоритм розрахунку траєкторії для неочікуваних перешкод (б)

за точку обходу. Далі розраховуються координати проміжного пункту, відсунутого від точки обходу на безпечну відстань. У цей пункт переноситься точка s і алгоритм, описаний у попередньому розділі, визначає нову траєкторію руху робота до точки f.

Алгоритм керування

Алгоритм керування забезпечує рух робота за розрахованою траєкторією. Розрахунковий напрямок руху порівнюється з фактичним, в результаті чого виробляється сигнал неузгодженості

$$\xi = \Psi - \varphi \tag{1}$$

Усунення неузгодженості забезпечується обертальним рухом робота. Обертальний момент визначається різницею керуючих впливів правого і лівого приводів коліс. Приймавши пропорційний закон керування з корекцією за швидкістю обертання, отримаємо

$$u_R - u_L = 2 \chi (K_0 \xi - v_0 \omega), \tag{2}$$

де K_0 – коефіцієнт підсилення контуру керування, v_0 – коефіцієнт швидкісної корекції, χ – коефіцієнт, що забезпечує обмеження на керуючі впливи

$$|u_{R,L}| \leq U_m. \tag{3}$$

Рушійна сила, що викликає поступальний рух, визначається сумою керуючих впливів правого і лівого приводів коліс

$$u_R - u_L = 2 \chi \left[G(\xi) \cdot H(\rho) \cdot U_m - \mu_0 v \right], \tag{4}$$

де множник $G(\xi)$ перешкоджає руху робота в неправильному напрямку

$$G(\xi) = \begin{cases} 0, & |\xi| \geq \beta, \\ 1, & |\xi| \leq \alpha, \\ (\beta - |\xi|) / (\beta - \alpha), & \alpha \leq |\xi| \leq \beta \end{cases} \tag{5}$$

а множник $H(\rho)$ забезпечує зупинку робота в точці f;

$$H(\rho) = \begin{cases} 1, & \rho \geq \rho_0, \\ \rho / \rho_0, & \rho < \rho_0. \end{cases} \tag{6}$$

де ρ_0 – відстань між роботом і точкою f.

Із співвідношень (2) і (4) визначаємо U_{RL}

$$u_{R,L} = \chi S_{R,L}, \tag{7}$$

де $S_{R,L} = G(\xi) \cdot H(\rho) \cdot U_m - \mu_0 v \pm (K_0 \xi - v_0 \omega)$

Коефіцієнт χ встановлюється з умови (3)

$$\chi = \begin{cases} 1, & \max |S_{R,L}| \leq U_m \\ U_m / \max |S_{R,L}|, & \max |S_{R,L}| > U_m \end{cases} \quad (8)$$

Описаний алгоритм містить п'ять параметрів $K_0, \mu_0, v_0, \alpha, \beta, \rho_0$, що визначаються в процесі параметричної оптимізації для мінімізації часу досягнення роботом пункту призначення при допустимих відхиленнях від розрахункової траєкторії.

Математична модель робота

Математична модель робота містить рівняння кінематики, рівняння динаміки руху і рівняння динаміки процесів в електричних ланцюгах приводів ведучих коліс. Вона може бути подана у такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} a) dx/dt = v \cos \varphi, dy/dt = v \sin \varphi, d\varphi/dt = \omega; \\ б) dv/dt = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) / m, d\omega/dt = (M_1 + M_2 + M_3 + M_4) / j; \\ в) \left. \begin{aligned} dF_{1j}/dt = (r/L) \cdot [-F_1 - (8k_3 k_4 / r d^2) v + (2k_4 / r d) \cdot (u_R + u_L)], \\ dM_{1j}/dt = (r/L) \cdot (-M_1 - (4k_3 k_4 D^2 / r d^2) \omega + (k_4 D / r d) \cdot (u_R - u_L)). \end{aligned} \right\} \quad (9) \end{aligned}$$

де F_2, M_2 – сила і момент грузого тертя; F_3, M_3 – сила і момент сухого тертя; F_4, M_4 – сила і момент сухого тертя в динаміці; F_s, M_s – значення цих величин у статиці; F_4, M_4 – проекція відцентрової сили на повздовжню вісь і момент, що виникає під час розгону і гальмування при зсуві центру мас щодо повздовжньої осі; ε – відстань від осі обертання до центру мас; v – кут між повздовжньою віссю і напрямком осі обертання до центру мас; r, L – опір і індуктивність обмотки ротора; d, D – діаметр ведучих коліс і відстань між ними; m, j – маса і момент інерції робота.

Деякі автори [4,5] обмежуються кінематичною моделлю, нехтуючи динамічними ефектами. Така модель адекватно описує поведінку робота, якщо швидкості постійні або незначно змінюються. Під час розгону, гальмування робота або за наявності крутих поворотів на його траєкторії динамічні ефекти істотно впливають на характер руху. Нехтування ними приводить до значних розбіжностей у поведінці робота і його моделі [6]. Запропонована модель (9) є повнішою, оскільки вона враховує всі істотні чинники, які впливають на характер руху робота.

Модельний експеримент

Схема модельного експерименту наведена на рис. 3. Модель навколишнього простору містить координати вершин багатокутників, які апроксимують перешкоди,

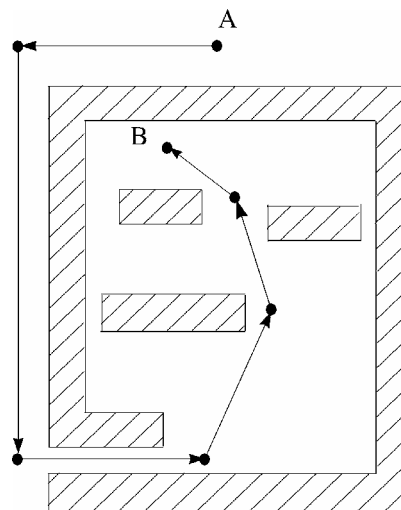


Рис. 5. Траєкторія руху робота

а також відстані від робота до найближчих перешкод. Кожній відстані відповідає визначений напрямок. Під час руху робота ця інформація періодично оновлюється. Так моделюється робота сенсорних пристроїв робота. На рис. 5 наведено приклад траєкторії, що з'єднує точки А і В. Траєкторія розрахована за допомогою алгоритму, наведеного на рис. 4. За цією траєкторією рухається модель робота. Експеримент підтверджує ефективність алгоритмів розрахунку траєкторії і керування рухом робота.

Висновки

У роботі вирішується проблема визначення напрямку руху робота в частково невідомому оточенні. Робот наділений здатністю до навчання, накопичує інформацію про навколишній простір і використовує її надалі. Друга проблема, яка розв'язана в роботі, – це проблема керування. Експерименти з визначення траєкторії і моделювання руху робота дали добрі результати, але автори не можуть стверджувати, що цілком задоволені досягнутим. Є декілька напрямків подальших досліджень. Один з них – одержання повнішої інформації про довкілля і удосконалення алгоритмів її обробки.

1. K. Schilling, V. Golovko, V. Dimakov. Neural System for Mobile Robot Autonomous Navigation // Workshop on Design Methodologies for Signal Processing, Zakopane. 1996. P. 124-130. 2. Jose del R. Millan. Reinforcement learning of goal-directed obstacle-avoiding reaction strategies in an autonomous mobile robot, Robotics and autonomous System, 1995. №15. P. 275-299. 3. Schilling K., Jungius C. Mobile Robot for Planetary Exploration // Proceedings of IFAC Conference "Intelligent

Autonomous Vehicles". Helsinki. 1995. P. 110-120. 4. Kiyake M., Shin D., Singh S. A Stable Control Method for an Autonomous Mobil Robot // Robotics Research. Vol.3. P. 333-340. 5. E.von Puttkamer, Tjutjunikov I., Trieb R. A Suboptimal Track Control Method for an Autonomous Mobile Robot // 15 IASTED

International Symposium "Manufacturing and Robotics", Lugano, Switzerland, 1991. 6. Павлюк Е.І., Мокренко П.В., Юриш С.Ю. Моделювання й управління рухом автономного мобільного робота // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". 1998. № 356. С.69-77.