Щербина В. П.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Національний авіаційний університет,
smya@nau.edu.ua

Розроблено метод побудови оптимальної траєкторії руху мобільного робота, що об'єднує множину початкових і кінцевих точок в робочому середовищі з перешкодами. Для сегментації початкової траєкторії відповідно до обмежень розроблено евристичний алгоритм,що забезпечує послідовне формування лінійних і дугових сегментів максимальної довжини з фіксованою початковою точкою.

Ключові слова: *математична модель руху мобільного робота, інтелектуальне керування мобільним роботом , оптимальна траєкторія руху,сегментація початкової траєкторії.*

Вступ.

Рухи МР залежать не тільки від внутрішніх та зовнішніх дій, а також від зовнішнього середовища, в якому працює робот чи може опинитися в процесі свого переміщення. Як видно, недостатня інформація про перешкоди та навколишнє середовище потребує суттєво переосмислити цілі МР, процеси керування, враховувати зовнішні збурення в математичних моделях процесів керування та в структурах інтелектуальних робототехнічних комплексах.

Побудова методології принципово нових методів інтелектуального керування мобільними робототехнічними комплексами та ВР дозволить істотно підвищити швидкодію та точність виконання поточних операцій щодо траєкторного переміщення рухомих складових частин ВР так і власне всього робота в цілому. Все це дасть змогу вийти на новий виток розвитку робототехніки, підвищити стабілізацію і якість розпізнавання складних перешкод в процесі експлуатації МР і ВР.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

В останній час в цих напрямках ведуться постійні дослідження і завдяки сучасним досягненням мікроелектроніки є значні якісні зміни. До МР і ВР стали включати складні мікропроцесори та сигнальні процесори, які забезпечують автоматичне управління процесом вимірювання, обробкою даних, керують приводами, фактично надають цим засобам «інтелектуальних» якостей.

Удосконалення технічних систем і зростаючі технологічні можливості для їх проектування і виробництва призводять до створення все більш інтелектуально складних технічних об'єктів, таких якими є МР. МР постійно оновлює своє уявлення про навколишній світ за допомогою нової інформації, що надходить з датчиків та виробляє план поведінки чи приймає відповідне рішення щодо виконання конкретної дії виходячи з цього уявлення.

Однією з найважливіших задач сучасної робототехніки є задача керування інтелектуальним роботом у нестаціонарному середовищі з перешкодами, де робот повинен прокладати оптимальний за деяким параметром маршрут, що буде з’єднувати множину початкових точок з множиною кінцевих, здійснюючи при цьому обхід перешкод.

На сьогоднішній день існують алгоритми керування робототехнічними системами у відомому та невідомому ЗС. Такі алгоритми представлені у роботах [1,2]. Розроблено алгоритми, що гарантують знаходження шляху в ЗС з відомими перешкодами за умови, що такий шлях існує [3- 5].

В [2] розглянуті алгоритми руху роботів за умови невизначеності (включаючи випадки невідомого середовища), проте для випадків, коли алгоритми здійснюють пошук на графі, досягнення цільової точки не гарантується.

Відомо також, що алгоритми пошуку в глибину не завжди задовольняють умовам поставленої задачі [4]. Недоліком методів планування шляху в середовищі з відомими перешкодами є те, що заздалегідь важко зібрати повну інформацію про робоче середовище робота і представити цю інформацію у вигляді, що буде придатним для сприйняття роботом при плануванні шляху.

Для керування МР в невідомому ЗС пропонується використовувати метод штучних потенціалів [5], де робот представляється у вигляді зарядженої точки, недопустимі області наділяються відштовхуючими потенціалами, цільова точка – тяжіючим потенціалом. В [4] представлено алгоритм керування МР у середовищі з невідомими перешкодами, що розташовані в трьохмірному декартовому просторі. В [3-5] розглянуті різні підходи до управління роботами в двовимірному невідомому просторі. В [6] розглянуто n-вимірний випадок: алгоритм базується на розв’язанні системи нелінійних рівнянь методом Ньютона і тому не може гарантувати досягнення цільової позиції.

Постановка задачі.

Розробити метод побудови оптимальної траєкторії руху мобільного робота, що сполучав би множину стартових і кінцевих точок в робочому середовищі з перешкодами.

Розв’язання задачі.

Для здійснення переміщення МР у середовищі з перешкодами розроблено підхід, що включає в себе два етапи. На першому етапі проводиться перетворення початкового контуру в оптимальний набір лінійних та дугових сегментів, що можуть бути реалізовані системою керування. На другому етапі здійснюється оптимізація рухів робота і формування відповідної програми керування. В результаті генерується плавна траєкторія, що може бути відтворена в масштабі реальному часу із заданою точністю об’єкту, що включає у себе прямолінійні та дугові сегменти, створеного на основі просторової моделі робочого простору, що описується за допомогою масиву даних

$$\Omega = \{\varpi_1, \varpi_2, \varpi_3, \ldots, \varpi_k\}, \tag{1}$$

де $\varpi_i = (p_i, a_i)$, $p_i = (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi})$ – вектор положення i-ї точки; $a_i = (a_{xi}, a_{yi}, a_{zi})$ – відповідний вектор орієнтації об’єкту, причому відстань між сусідніми точками задовольняє умові $\|p_i - p_{i-1}\| \le \Delta S_{\min}$.

Для відпрацювання цієї траєкторії роботом необхідно побудувати нову послідовність масивів даних Ω', що складається з мінімальної кількості вузлів m і задовольняє крайовим умовам $\varpi'_0 = \omega_0$; $\varpi'_m = \varpi_k$, та обмеженням по точності, що зумовлені особливостями алгоритмів керування рухами роботів, реалізованих в промислових контролерах [6]:

$$\max_{\mu\in[0,1]} \rho\left(\mu p'_{i-1} + (1-\mu) p'_i, \Omega\right) \le \delta; \quad \forall i = \overline{1,m}; \tag{2}$$

$$\frac{S_T}{2} \cdot \cos\frac{\alpha_i}{2} \le \delta; \quad \forall i = \overline{1, m-1}, \tag{3}$$

де δ – необхідна точність траєкторного руху; $\rho(p, \Omega) = \min_i \|p_i - p\|$ – відстань від точки p до траєкторії Ω; α_i – кут крутизни траєкторії Ω' у вузлі ϖ'_i: $\cos\alpha_i = (p'_i - p'_{i-1}) \cdot (p'_{i+1} - p'_i) / |p'_i - p'_{i-1}| \cdot |p'_{i+1} - p'_i|$; S_T – шлях гальмування при заданій швидкості руху мобільного робота; $\Delta S_{\min} = vT_0$ – мінімальний інтервал між створенням масиву даних, що залежить від швидкості руху робота v і періоду квантування системи керування T_0.

Для сегментації початкової траєкторії (1) відповідно до обмежень (2, 3) розроблено евристичний алгоритм. Він забезпечує послідовне формування лінійних і дугових сегментів максимальної довжини з фіксованою початковою точкою. При цьому вищий пріоритет мають лінійні сегменти, що потребують менших обчислювальних витрат при реалізації в системі керування роботом.

На вхід алгоритму подаються: масив рівновіддалених точок, що описують початкову траєкторію у вигляді узагальненої полілінії $\{p_i, a_i\}$, $i = \overline{1,k}$; допустиме відхилення траєкторії що синтезується $\delta_{\max}$; граничний радіус дугового сегмента $R_{\max}$.

Вихідними даними алгоритму є: масив точок $\{p'_i, a'_i\}$, $i = \overline{1,k'}$, що визначає кінці сегментів; масив $\{{}^m p'_i\}$, $i = \overline{1,k'}$, що містить додаткові точки дугових сегментів.

Припустимо, що розташування систем координат мобільного робота щодо глобальної системи координат описується 4×4 – матрицями однорідних перетворень ${}^0T_R$ і ${}^0T_w$. Тоді кінематичні властивості робототехнічного комплексу бути описані матричним рівнянням

$${}^{0}T_t(q) = {}^{0}T_b \cdot T_1(q_1) T_2(q_2) \ldots T_5(q_5) T_6(q_6) T_t,$$

де T_t – матриця, що описує положення і орієнтацію системи координат перешкоди; $T_i(q_i)$ – матриці, що описують геометричну структуру шасі робота залежно від значень узагальнених координат ланок q_i. Останні з зазначених матриць істотно залежать від кінематичної структури робота, і для роботів антропоморфного типу їхні добутки можуть бути представлені у вигляді

$${}^{0}T_t = \begin{bmatrix} C_1C_{23} & -S_1 & C_1S_{23} & a_2C_1C_2 + a_3C_1C_{23} - d_2S_1 \\ S_1C_{23} & C_1 & S_1C_{23} & a_2S_1C_2 + a_3S_1C_{23} + d_2C_1 \\ -S_{23} & 0 & C_{23} & -a_2S_2 - a_3S_{23} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

де $C_i = \cos q_i$; $S_i = \sin q_i$; $C_{ij} \equiv \cos(q_i + q_j)$; $S_{ij} \equiv \sin(q_i + q_j)$; a_i, d_i – параметри, що мають зміст: d_2 – відстань між центрами першого і другого ланцюгів; a_2, d_4 – довжини першого і другого ланцюгів відповідно; a_3 – відстань від осі першого та третього ланцюгів до центру третього ланцюга; d_6 – відстань між осями першого і третього ланцюгів.

Для кожної вузлової точки траєкторії ϖ_i' визначимо систему координат з початком координат у точці p_i', вісь X направимо уздовж траєкторії руху робота, вісь Z – у напрямі вертикального переміщення робота по місцевості, а вісь Y – так, щоб X, Y, Z утворювали праву систему координат. Нехай ${}^{0}T_{S_i}$ – матриця однорідних перетворень, тоді задачу переміщення робота можна представити як поєднання координатних осей фреймів ${}^{0}T_{S_i}$ і фреймів ${}^{0}T_t(q)$ таким чином, що вісь X_t співпадає з віссю Z_s, а взаємне розташування осей, що залишилися, визначається з точністю до скалярного параметра γ, що описує поворот фреймів, що розглядаються, навколо осі переміщення першого ланцюга:

$${}^{0}T_{S_i} R_z(\gamma) = {}^{0}T_t(q) \cdot H,$$

де матриця констант $H = R_x(\pi) \cdot R_y(\pi/2)$ враховує порядок поєднання осей, а R_x, R_y, R_z – оператори обертання навколо X, Y, Z відповідно. У результаті, застосовуючи відповідний алгоритм розв'язання зворотної задачі кінематики $Q_i(\gamma) = InvKin\left[{}^{0}T_{S_i} R_Z(\gamma) H^{-1}\right]$, початкова сукупність сегментів траєкторії Ω' перетвориться в множину узагальнених координат $Q_i(\gamma)$. На практиці доцільно обмежитися дискретними значеннями параметра $\gamma = 2\pi j/k$; $j = \overline{0,k}$ і множину $\{Q_i(\gamma);\ \gamma \in [0,\pi];\ i = \overline{1,m}\}$ описати двовимірною матрицею, стовпці якої відповідають одній і тій же фізичній точці траєкторії руху, а елементами є вектори узагальнених координат q або відповідні розташування перешкод L. При цьому для кожного елемента цієї матриці доцільно перевірити існування розв'язку зворотної задачі кінематики і відсутність зіткнень робота з перешкодою. Застосовуючи вказані дії до всіх вузлів траєкторії Ω', отримаємо, що множина допустимих розташувань перешкод і відповідних узагальнених координат представляється у вигляді двовимірної матриці $\{L_{ij}, q_{ij}\}$, кожний елемент якої є сукупністю фрейму L_{ij} і шестимірного вектора q_{ij}.

Набір таких матриць доцільно представити у вигляді багатошарового направленого графа з вершинами $V = \{L_{ij}\}$ і ребрами $E = \{(L_{ij}, L_{kl});\ i = k-1;\ \forall i, j, k, l\}$, де кожний шар відповідає певному індексу конфігурації M.

Тоді для заданого індексу конфігурації функція $\gamma(t)$ визначає шість траєкторій ланцюгів

$q_k(t),\ k=\overline{1,6}$ кожна з яких може бути оцінена скалярним критерієм, що характеризує рух ланцюгів робота

$$J_S^{(k)}[q(t)]=\int_0^T|\dot{q}_k(t)|dt. \quad (4)$$

У результаті дана задача планування руху робота зводиться до наступної оптимізаційної задачі на графі: для заданої множини вершин V і ребер E, знайти оптимальний шлях довжиною n $\prod(\gamma_0,\ldots,\gamma_n)=\left\langle L_{0j_1}\to L_{1j_2}\to\ldots\to L_{nj_n}\right\rangle$ з початковим станом $V_0\in\{L_{0j}\}$ і кінцевим станом $V_n\in\{L_{nj}\}$, який забезпечує оптимальність за Парето векторного критерію якості (4).

Для спрощення опису алгоритмів узагальнені координати, що відповідають положенню L_{ij}, позначимо як $q_k(i,\ j)$, а траєкторії, що відповідають вектору розв'язку Q – як $q_k(i,\ j_{\gamma_i})$. Використовуючи ці позначення, задачу мінімізації адитивного критерію (4) для кожної узагальненої координати можна представити у вигляді

$$J_S^{(k)}(Q)=\sum_i\left|q_k\left(i,\ j_{\gamma_i}\right)-q_k\left(i-1,\ j_{\gamma_{i-1}}\right)\right|\to\min_Q,$$

і розв'язати методами динамічного програмування. Нехай на p-му кроці були знайдені всі оптимальні послідовності $Q^0(p,\chi)=\left\langle\gamma_0,\ldots,\gamma_{p-1},\chi\right\rangle$ з кінцевим елементом $\chi\in Q_p$ та відповідними показниками якості $F_p(\gamma)$. Тоді для наступного кроку оптимальна послідовність $Q^0(p+1,\gamma)=\left\langle\gamma_0,\ldots,\gamma_{p-1},\chi,\gamma\right\rangle$ з кінцевим елементом $\gamma\in Q_{p+1}$ може бути знайдена з умови:

$$F_{p+1}(\gamma)=\min_{\chi\in Q_p}\left\{F_p(\chi)+\left|q_k\left(p+1,\ j_\gamma\right)-q_k\left(p,\ j_\chi\right)\right|\right\},$$

що описує алгоритм оптимізації кожної скалярної компоненти даного векторного критерію. При знаходженні оптимальних розв'язків за Парето використовується алгоритм, у якому кожній компоненті критерію (4) встановлюються вагові коефіцієнти, що змінюються в процесі оптимізації.

Висновок. Запроновано метод побудови оптимальної траєкторії руху мобільного робота при обході перешкод по поверхні деталі. При сегментації початкової траєкторії з відповідними обмеженнями розроблено алгоритм,що забезпечує послідовне формування лінійних і дугових сегментів для фіксованої початкової точки.

Список літератури

1. Choset H. Principles of Robot Motion. Theory, Algorithms and Implementations / H. Choset // A Bradford Book. – The MIT Press, 2005. – 111 p.
2. Ильин В.А. Интеллектуальные роботы: Теория и алгоритмы / В.А. Ильин. – Красноярск: САА, 1995. – 334 с.
3. Chen C. Hybrid Control for Robot Navigation. A hierarchical Q-learning algorithm / C. Chen,. H.-X. Li, D. Dong // IEEE Robotics & Automation Magazine. – Vol.15, 2009. – № 2. – PP.37-47.
4. 28. Ghosh S.K. Online Algorithms with Discrete Visibility. Exploring Unknown Polygonal Environments / S.K. Ghosh, J.W. Burdick, A. Bhattacharya, S. Sarkar // IEEE Robotics & Automatiom Magazine. – Vol. 15, 2008. – №2. – PP.67-76.
5. Rawlinson D. Ways to Tell Robots Where to Go. Directing autonomous robots using topological instructions / D. Rawlinson, R. Jarvis // IEEE Robotics & Automation Magazine. – Vol. 15, 2006. – №2, – PP.27-36.
6. Yegenoglu F. On-line Path Planning Under Uncertainty / F. Yegenoglu, A.M. Erkmen, H.E. Stephanou // Proc. 27th IEEE Conf. Decis. and Contr. – Austin, Tex. – Vol.2, 1988. – PP.1075-1079, New York (N.Y.).