



УДК 004.896:621.865

## MANAGEMENT OF MRTS USING THE METHOD OF POTENTIALS IN AN INTERFERING ENVIRONMENT

### КЕРУВАННЯ МРТС З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПОТЕНЦІАЛІВ В СЕРЕДОВИЩІ З ПЕРЕШКОДАМИ

Kolumbet V.P. / Колумбет В.П.

senior lecturer / старший викладач

ORCID: 0000-0002-0871-9402

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Politechnichna, 6, 03056

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Київ, Політехнічна, 6, 03056

**Анотація:** В даний час все більшої актуальності набувають мультиагентні робототехнічні системи (МРТС), які знаходять широке застосування в промислових областях, сфері обслуговування, а також пов'язаних з підвищеним ризиком для людини. Одна з найпоширеніших проблем, це - переміщення роботів в середовищі з перешкодами. В цьому матеріалі розглянуто варіант рішення задачі з використанням методу потенціалів.

**Ключові слова:** мультиагентна робототехнічна система, мультиагентний підхід, метод потенціалів.

#### Вступ.

Уявимо що роботам задані точки до яких необхідно забезпечити переміщення. Дана задача може бути вирішена з використанням методу потенціалів. Нехай  $n$  - число роботів, що входять до складу системи;  $m$  - кількість заданих точок, розташованих в робочому просторі;  $r$  - число статичних перешкод в робочій зоні. Кожен робот системи повинен переміщатися до однієї заданої точки (також у декількох роботів може бути однаково задана точка), уникаючи зіткнень з іншими роботами і статичними перешкодами. Передбачається, що координати всіх роботів і статичних перешкод в кожен момент часу відомі.

#### 1. Реалізація методу потенціалів при мультиагентному підході.

Метод потенціалів в даній задачі може бути представлений в наступному вигляді. Припишемо роботам та статичним перешкодам негативні заряди, а заданим точкам - позитивні. Тоді кожен робот притягається до своєї заданої точки зі швидкістю, яка залежить від відстані між ним та цією точкою. Він відштовхується від всіх інших роботів та статичних перешкод зі швидкостями, також залежать від відповідних відстаней. Напрямки швидкості тяжіння  $i$ -го робота до заданої точки,  $K_i^f$ ,  $i = 1, \dots, n$ , швидкостей відштовхування  $i$ -го та  $j$ -го роботів один від одного:  $K_{ij}$  та  $K_{ji}$ ,  $j = 1, \dots, n$ , та швидкості відштовхування  $i$ -го робота від  $l$ -ї статичної перешкоди,  $K_{il}^s$ ,  $l = 1, \dots, r$ . Таким чином, для  $i$ -го робота в кожен момент часу формується значення і напрям його швидкості  $K_i$



як сума векторів:

$$K_i = K_i^f + \sum_{j=1}^{n-1} K_{ij} + \sum_{l=1}^r K_{il}^S \quad (1)$$

$d_i^f$  - відстань між  $i$ -м роботом та його заданою точкою;  $d_{ij}$  - відстань між  $i$ -м та  $j$ -м роботами;  $d_{il}^S$  - відстань між  $i$ -м роботом та  $l$ -м статичною перешкодою  
Модуль швидкості  $K_i^f$  визначається за формулою

$$K_i^f = K_m Q_i^f \quad (2)$$

де  $K_m$  - максимальна швидкість робота;  $Q_i^f$  - коефіцієнт відносної відстані між роботом  $i$  та його заданою точкою:

$$Q_i^f = \frac{d_i^f}{d_{max}} \quad (3)$$

де  $d_{max}$  - максимально можлива відстань між об'єктами робочої зони.

Модуль швидкості  $K_{ij}$ :  $K_{ij} = K_m Q_{ij}$ , де коефіцієнт  $Q_{ij}$  відносно відстані між  $i$ -м та  $j$ -м роботами визначається за формулою:

$$Q_{ij} = \begin{cases} \frac{R - d_{ij}}{R}, & \text{якщо } d_{ij} < R; \\ 0, & \text{якщо } d_{ij} \geq R, \end{cases} \quad (4)$$

де  $R$  - безпечна відстань між двома роботами, визначається габаритами та швидкісними характеристиками роботів.

Модуль швидкості  $K_{il}^S$ :  $K_{il}^S = K_m Q_{il}^S$ , де коефіцієнт  $Q_{il}^S$  відносно відстані між  $i$ -м роботом і  $l$ -м статичною перешкодою визначається за формулою

$$Q_{il}^S = \begin{cases} \frac{R_S - d_{il}^S}{R_S}, & \text{якщо } d_{il}^S < R_S; \\ 0, & \text{якщо } d_{il}^S \geq R_S, \end{cases} \quad (5)$$

де  $R_S$  - безпечна відстань між роботами та статичними перешкодами. Щоб отримати рівняння руху системи роботів в нормальній формі, введемо такі позначення. Нехай

$$K_i^a = \sum_{j=1}^{n-1} K_{ij} K_i^S = \sum_{l=1}^r K_{il}^S \quad (6)$$

Швидкісна складова  $K_i^a$  - це векторна сума швидкостей відштовхування  $i$ -го робота від сусідніх роботів, а швидкісна складова  $K_i^S$  - це векторна сума



швидкостей відштовхування  $i$ -го робота від статичних перешкод, що знаходяться на небезпечному відстані від нього. Тоді для  $i$ -го робота отримаємо вектор його швидкості

$$K_i = K_i^f + K_i^a + K_i^s \quad (7)$$

Розклавши вектор швидкості робота по координатним осях робочого простору, отримаємо його рівняння кінематики

$$\begin{cases} x_i = f_{ki}^x(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n); \\ y_i = f_{ki}^y(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n); \end{cases} \quad (8)$$

де,  $x_i, y_i$  - координати  $i$ -го робота в робочому просторі. Величини  $f_{ki}^x$  та  $f_{ki}^y$  - швидкісні функції  $i$ -го робота, що залежать від координат всіх роботів. В результаті для  $n$  роботів отримаємо систему рівнянь, що описує поведінку групи роботів, в наступному вигляді:

$$Z = F_k \quad (9)$$

де  $Z$  та  $F_k$  -  $2 \times n$  - матриці виду

$$\begin{aligned} Z &= (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)^T; \\ F_k &= (Z_{k1}, Z_{k2}, \dots, Z_{kn})^T. \end{aligned} \quad (10)$$

Вектор  $Z_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}$  - вектор координат  $i$ -го робота, а  $F_{ki} = \begin{pmatrix} f_{ki}^x \\ f_{ki}^y \end{pmatrix}$  вектор

швидкісних функцій робота.

Вирішуючи отриману систему рівнянь, можна побудувати траєкторії руху роботів, що забезпечують їх переміщення до заданих точок та виключають зіткнення один з одним та з перешкодами.

## 2. Розподіл роботів в робочій зоні.

Для обстеження робочої зони необхідно забезпечити рівномірне розміщення роботів в межах зони. Тут також можна застосувати метод потенціалів.

Нехай  $n$  - кількість роботів, що входять до складу системи. Робоча зона має прямокутну форму з розмірами  $W \times H$ . Спочатку роботи розташовані довільно в межах робочого простору. Введемо систему координат  $OXY$ , пов'язану з робочою зоною. Припустимо, що роботи при їх рівномірному розподілі повинні перебувати на відстані  $R$  один від одного і на відстані  $R/2$  від кордонів робочої зони. Таким чином, кожен робот повинен відштовхуватися від іншого, якщо відстань між ними менше заданого, і притягуватимуться до нього, якщо ця відстань перевищує задане значення. При цьому кожен робот повинен притягатися до кордону робочої зони, якщо відстань до цієї межі перевищує  $R/2$ , і відштовхуватися від кордону, якщо відстань до кордону менше  $R/2$ .



Відстань  $R$  залежить від габаритів робочої зони і кількості роботів:

$$R = \sqrt{\frac{WH}{n}} \quad (11)$$

Для  $i$ -го робота в кожен момент часу формується значення і напрям його швидкості  $K$  як векторна сума:

$$K_i = \sum_{j=1}^{n-1} K_{ij} + K_i^b \quad (12)$$

Модуль швидкості  $K_{ij}$ :  $K_{ij} = K_m Q_{ij}$  де коефіцієнт  $Q_{ij}$  відносного відстані між  $i$ -м та  $j$ -м роботами залежить від відстані  $d_{ij}$  між роботами:

$$Q_{ij} = \begin{cases} k_1 \text{ якщо } d_{ij} > R \\ k_2 \text{ якщо } d_{ij} < R \\ 0 \text{ якщо } d_{ij} = R \end{cases} \quad (13)$$

Тут  $k_1, k_2$  - константи, причому  $k_1 \ll k_2$ . Швидкісна складова  $K_i^b$  відповідає за взаємодію робота з межами робочої зони. Значення швидкості  $K_i^b$  в проекціях на осі координат визначаються наступним чином:

$$\begin{cases} K_i^{bx} = \pm f(R) K_m \frac{W - 2x_i}{W - R}, \\ K_i^{by} = \pm f(R) K_m \frac{W - 2y_i}{W - R}. \end{cases} \quad (14)$$

Тут  $f(R)$  - лінійна функція;  $x_i$ , та  $y_i$  - координати робота. Знак «+» відповідає внутрішній області,  $x_i, y_i \in A$ ; знак «-» - прикордонній області,  $x_i, y_i \in B$ .

### Висновки:

Розглянуті методи і алгоритми мультиагентного управління забезпечують реалізацію окремих модулів системи управління. Алгоритми переміщення роботів до цільових точок в середовищі з перешкодами і рівномірного розподілу роботів в робочій зоні реалізуються на основі методу потенціалів та дозволяють побудувати траєкторії руху роботів, що забезпечують їх переміщення до заданих точок з рівномірним розміщенням та виключають зіткнення один з одним та з перешкодами.

### Література:

1. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. (В 3-х томах). – М.: Физматлит, 2003. т. 1 – 680 с.



2. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г., Задачи и методы линейного программирования: Задачи транспортного типа. — Москва, 2010. — 184 с. ISBN 978-5-397-01334-5

3. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Холод Н.И. Высшая математика. Математическое программирование. — Мн.: Выш. шк., 1994 — 286

4. Таха, Хемди А., Введение в исследование операций, 7-е издание.: Пер. с англ. — Москва: Издательский дом "Вильямс", 2005. — 912 с. ISBN 5-8459-0740-3

5. Lewis M. A., Tan K. High precision formation control of mobile robots using virtual structures // Autonomous Robots. 1997. Vol. 4, N 4. P. 387–403.

6. Xue D., Yao J., and Wang J.  $H_\infty$  Formation Control and Obstacle Avoidance for Hybrid Multi-Agent Systems // Journal of Applied Mathematics. 2013. Vol. 2013. Article ID 123072. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/123072>

***Abstract:** In this hour, all the greater relevance is developing multi-agent robotic systems (MRTS), as there are wider resources in industrial areas, the sphere of service, as well as those who are involved in traveling with people. One of the most common problems is the relocation of robots in the middle with re-codes. In a wide range of materials, a variant of the solution of problems with the victorious method of potential is presented.*

***Key words:** multi-agent robotic system, multiagent approach, potential method.*

Стаття відправлена: 18.05.2021 р  
© Колумбет В.П.