

МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТА ПЕРЕСУВАННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

С.А. Шворов, доктор технічних наук

Розроблено методи оптимального розподілу та пересування універсальних роботів-маніпуляторів у багатокоординатному режимі руху в конфліктному середовищі з урахуванням важливості об'єктів сільськогосподарського призначення.

Ключеві слова: універсальний робот-маніпулятор, оптимальний розподіл, об'єкт сільськогосподарського призначення.

Найважливішим завданням при створенні інтелектуальної системи управління універсальними роботами-маніпуляторами (УРМ) є дослідження та обґрунтування можливостей застосування методів оптимального розподілу та пересування УРМ між об'єктами сільськогосподарського призначення (ОСП). Нині існуючі системи управління автоматизованими маніпуляторами морально і фізично застаріли, а висока оперативність управління рухливими роботами-маніпуляторами з великою кількістю ступенів свободи робить недоцільним їх використання без застосування інтелектуальної системи управління [1, 2]. Незважаючи на значні успіхи в розвитку теорії та практики побудови роботів надлегкого класу, деякі завдання, пов'язані із розподілом та пересуванням УРМ між ОСП, вирішені не повною мірою.

Метою досліджень є розробка методів оптимального розподілу та пересування перспективних роботів-маніпуляторів між об'єктами сільськогосподарського призначення.

Результати досліджень. Для проведення дослідження і досягнення мети

виникає необхідність в розробці:

1. Методу оптимального розподілу перспективних робіт-маніпуляторів між об'єктами сільськогосподарського призначення.

2. Методу оптимального пересування робіт-маніпуляторів між об'єктами сільськогосподарського призначення.

При виборі оптимальної стратегії розподілу УРМ між об'єктами сільськогосподарського призначення за основу приймається передумова, що основною метою функціонування інтелектуальної системи управління УРМ є досягнення мінімального значення математичного сподівання кількості не обслугованих за допомогою УРМ найважливіших сільськогосподарських об'єктів.

Початковими даними для вирішення задачі оптимального розподілу УРМ між ОСП є: загальне число УРМ (M), кількість групових ОСП (k), кількість об'єктів у кожній групі (n_i), а також їх важливість (v_i , $i = 1, \dots, k$). Задача зводиться до визначення вектора розподілу груп УРМ або засобів їх доставки $C(m_1, \dots, m_i, \dots, m_k)$ між груповими ОСП, при якому забезпечується мінімум функції

$$N_{\phi} = \sum_{i=1}^k [1 - P_i(m_i)] n_i v_i \quad (1)$$

при обмеженні

$$M - \sum_{i=1}^k m_i n_i = 0, \quad (2)$$

де $P_i(m_i)$ – імовірність виконання всього обсягу робіт УРМ (m_i) на об'єкті i -го типу. Припускаючи неперервність та диференцируемість показника ефективності, задачу вирішуємо методом невизначених множників Лагранжа [3]. Складемо функцію

$$\Phi(C, \lambda) = N_{\phi} + \lambda \left(M - \sum_{i=1}^k m_i n_i \right), \quad (3)$$

де λ - невизначений множник Лагранжа.

Умови екстремуму мають вид

$$\frac{\partial \Phi}{\partial m_i} = 0 \quad \text{або} \quad \frac{\partial P_i(m_i)}{\partial m_i} n_i v_i + \lambda n_i = 0. \quad (4)$$

Враховуючи, що $n_i > 0$, отримаємо:

$$\frac{\partial P_i(m_i)}{\partial m_i} = -\lambda \quad \text{для всіх } i = \overline{1, k}. \quad (5)$$

Рішення системи рівнянь (5) показує, що необхідною умовою оптимального розподілу є рівність перших похідних імовірності впливу на ОСП за числом виділених УРМ:

$$v_i \frac{\partial P_i(m_i)}{\partial m_i} = v_k \frac{\partial P_k(m_k)}{\partial m_k}, \quad i = \overline{1, k-1}. \quad (6)$$

Система рівнянь (6) сумісно з обмеженням (2) є замкнутою і дає вектор-рішення оптимального розподілу.

Для прийнятих допущень імовірність виконання повного обсягу робіт УРМ набере вигляду

$$P_i(m_i) = 1 - \exp\left[-\frac{m_i R_i^2}{2\sigma_{nn}^2}\right], \quad (7)$$

де R_i – радіус кругової області виконання робіт УРМ на i -му груповому об'єкті (для ступінчастого закону), σ_{nn} – середнє квадратичне відхилення центра області впливу відносно групового об'єкта (припускається нормальне кругове розсіювання). Умова (6) у цьому випадку буде мати вигляд

$$v_i R_i^2 \exp\left[-\frac{m_i R_i^2}{2\sigma_{nn}^2}\right] = v_k R_k^2 \exp\left[-\frac{m_k R_k^2}{2\sigma_{nn}^2}\right], \quad (8)$$

звідки

$$m_i = m_k \left(\frac{R_k}{R_i}\right)^2 - \frac{2\sigma_{nn}^2}{R_i^2} \ln\left(\frac{v_k R_k^2}{v_i R_i^2}\right). \quad (9)$$

У загальному випадку величини m_i неперервні. Цілочисельне рішення можна отримати так. Спочатку визначається оптимальний розподіл у безперервних змінних m_i , потім – розподіл першого наближення $\overline{m}_i = \text{ent } m_i$.

Універсальні роботи-маніпулятори, які залишились, тобто $\Delta M = M - \sum_{i=1}^k \overline{m}_i n_i$ розподіляються послідовно на той груповий об'єкт, для якого маргінальна ефективність впливу максимальна, тобто

$$i \rightarrow \max_i [P_i(\overline{m}_i + 1) - P_i(\overline{m}_i)]. \quad (10)$$

При пошуках оптимальних маршрутів мобільних роботів необхідно враховувати, що пересування робота знаходиться під впливом конфліктного середовища, тобто сукупності різноманітних конфліктуючих предметів (рухомих та нерухомих), розташованих за маршрутом руху, наближення мобільного робота до яких небажане. Необхідно визначити оптимальні маршрути пересування роботів, щоб мінімізувати вплив конфліктного середовища на траєкторію пересування мобільного робота.

Відправна задача приводиться до дискретного вигляду. Для цього область простору станів, що нас цікавить, накривається Q -ою мережею $L^{(1)} \times L^{(2)} \times \dots \times L^{(Q)}$. При цьому вважається, що МР можуть переміщуватися тільки з одного вузла цієї мережі до іншого.

Задача синтезу оптимальних траєкторій руху в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності за нелінійною схемою компромісів [2, 4]. При цьому визначення оптимального шляху з граничною умовою $\Phi(0, S) = 0$ для τ -у допустимих точок на координаті X та Y j -го рівня на кожному кроці розв'язується за функціональним рівнянням Беллмана

$$\Phi(j, \tau) = \min_{i \in I_{j-1}} [\Delta \Phi_{j-1, i}^{j, \tau} + \Phi(j-1, i)], \quad j \in [1, J], \quad (11)$$

де j – кількість рівнів переходу на мережі по координаті X , Y ;

I_{j-1} – кількість допустимих точок на $(j-1)$ -му рівні мережі;

S – номер початкової точки по координаті X на нульовому рівні мережі;

$\Phi(j, \tau)$ – сумарні втрати з узагальненого критерію оптимальності при переході з початкової точки $(0, S)$ в точку (j, τ) мережі;

$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,\tau}$ – прирощення узагальненого критерію при переході з точки $(j-1, i)$ в точку (j, τ) мережі.

В узагальненій критерій якості входять три приватних критерії: перший – кількісно визначає ступінь небезпеки наближення до нерухомих конфліктуючих предметів (P), другий – характеризує довжину переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі $(l_{j-1,i}^{j,m})$, третій приватний критерій ψ – ступінь небезпеки наближення до рухомих конфліктуючих предметів під час переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі. Розрахунок першого та третього приватних критеріїв має відбуватись за допомогою системи розпізнавання образів.

Структура узагальненого критерію будується відповідно до методології нелінійної схеми компромісів [2, 4] та визначається виразом

$$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} = \frac{K_1 Z_{\max}}{Z_{\max} - Z_{j-1,i}^{j,\tau}} + \frac{K_2 l_{\max}}{l_{\max} - l_{j-1,i}^{j,\tau}} + \frac{K_3 \psi_{\max}}{\psi_{\max} - \psi_{j-1,i}^{j,\tau}}, \quad (12)$$

де K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти важливості приватних критеріїв.

Як оптимальна на рівні j вибирається та допустима точка такого рівня, якій відповідає мінімум сумарних втрат за узагальненим критерієм оптимальності (12). Такий підхід є ефективним лише при розв'язанні задач з порівняно невеликою вимірністю мережі. Із її зростанням істотно збільшуються час розрахунку та обсяг машинної пам'яті, що вимагається. Для усунення цього недоліку необхідно організувати процедуру пошуку так, щоб, використовуючи можливо меншу кількість обчислень цільової функції $f(x)$, знайти

$$x^* = \arg \min_{x \in X} f(x). \quad (13)$$

Враховуючи, що визначення x^* може бути знайдене лише наближено, йдеться про пошук будь-якої точки з множини

$$X_\varepsilon = \{x \in X : \zeta(x, x^*) \leq \varepsilon\}, X_\varepsilon \subset X, \quad (14)$$

де ζ – деяка метрика на X ; ε – допустима похибка за аргументом.

Можливі різноманітні підходи до організації пошукової процедури. Один з них – дискретний аналог метода Нелдера-Міда. Другий – нелокальний підхід

[2], часто ефективніший, ніж градієнтні методи. Метод базується на ітераційній побудові “пливучої” разом з системою базисних точок $S^{(i)}$, що змінюються, нелокальної моделі $F(x, a^{(i)})$, яка уточнюється за результатами експерименту, при цьому сукупність опорних точок стискається та стягується до точки екстремуму, що шукається (“шагренева шкіра”). Таким чином, на кожній ітерації водночас та взаємозалежно здійснюється як уточнення наших уявлень про цільову функцію в області екстремуму, так і визначення такої оцінки аргументів екстремуму, що адекватна їх рівню на цій ітерації. За цією ознакою нелокальний метод оптимізації належить до класу дуальних.

Висновок. Таким чином, на основі сумісного використання методів оптимального розподілу та пересування універсальних роботів-маніпуляторів між об’єктами сільськогосподарського призначення в інтелектуальній системі управління роботизованим комплексом забезпечується вирішення задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху мобільних роботів у конфліктному середовищі.

Список література

1. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / Воронин А.Н.. – К.: Наукова думка, 1992. – 157 с.
2. Воронин А.Н. Синтез компромиссно-оптимальных траекторий мобильных объектов в конфликтной среде / А.Н.Воронин, А.Г.Ясинский, С.А Шворов // Проблемы управления и информатики. – 2002. – №.1. – С. 84–93.
3. Ильичев А.В. Эффективность проектируемых элементов сложных систем: Учеб. пособие / Ильичев А.В., Волков В.Д., Грущанский В.А. – М.: Высшая шк., 1982. – 280 с., ил.
4. Підхід до вирішення задачі компромісно-оптимального вибору маршруту руху об’єктів в конфліктному середовищу / С.А. Шворов, А.М. Берназ О.І. Бурчак [та ін.] // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: Київський університет, 2008. – № 19. – С. 63–70.

МЕТОДЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПЕРЕДВИЖЕНИЯ
РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

С.А. Шворов

Разработаны методы оптимального распределения и передвижения универсальных роботов-манипуляторов в многокоординатном режиме движения в конфликтной среде с учетом важности объектов сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: универсальный робот-манипулятор, оптимальное распределение, объект сельскохозяйственного назначения.

METHODS OPTIMAL DISTRIBUTION AND MOVEMENT OF A ROBOT
MANIPULATOR BETWEEN OBJECTS SPECIAL

S. Shvorov

The methods of optimal distribution and movement of universal robotic manipulators in multi-axis mode of movement in a conflict environment, taking into account the importance of facilities for agricultural use.

Keywords: universal robotic arm, the optimal allocation, the object of agricultural land.