
УДК 681.3(031)

С.А. Шворов

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ З РОЗПІЗНАВАННЯМ ПЕРЕШКОД

Розглянуті задачі організації пересування мобільних роботів з розпізнаванням перешкод в конфліктному середовищі. Описано розв'язання задачі синтезу маршрутів пересування мобільних роботів з використанням нейромережових структур для розпізнавання образів.

Ключові слова: *мобільний робот, маршрути пересування, багатокритеріальний синтез, перешкода, нейронна мережа, адекватність.*

Вступ

Ще в 2005 році в збройних силах США число армійських роботів різного призначення досягло 2,4 тис. На даний час американські війська мають 12 тисяч наземних роботів, ще 7 тисяч у вигляді безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є у ВПС. Виконання ними різноманітних завдань пред'являє постійно зростаючі вимоги до мобільності пересування універсальних роботів. Підвищення ефективності їх пересування може бути досягнуто за допомогою використання спеціаль-

них методів розпізнавання перешкод, які необхідно враховувати при визначенні оптимальних маршрутів руху універсальних мобільних роботів (УМР).

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що існуючим методам синтезу маршрутів властиві наступні основні недоліки: відсутність можливості оптимального розподілу та пересування УМР між об'єктами виконання завдань (ОВЗ), низький рівень точності розпізнавання перешкод в умовах динамічної невизначеності, відсутність можливостей одночасного врахування різних видів перешкод, значні витрати на

створення та застосування обладнання [1]. Одним із напрямків усунення зазначених недоліків є широке застосування нейронних мереж для визначення перешкод та методів оптимізації маршрутів руху мобільних роботів. Однак, у зв'язку з великими обсягами початкових даних і відсутністю ефективних інженерних методик вирішення даної задачі виникає необхідність у проведенні цілеспрямованих досліджень у цьому напрямку.

Мета досліджень полягає в розробці математичного апарату організації пересування універсальних мобільних роботів з розпізнаванням перешкод у конфліктному середовищі.

Основний матеріал дослідження

Для проведення дослідження і досягнення мети виникає необхідність в розробці:

1) методів оптимального розподілу та пресування перспективних УМР між об'єктами виконання завдань;

2) методу розпізнавання перешкод УМР.

При виборі оптимальної стратегії розподілу УМР між об'єктами виконання завдань за основу приймається передумова, що основною метою функціонування УМР є досягнення мінімального значення математичного сподівання кількості не обслугованих найважливіших ОБЗ (N_{ϕ}).

Початковими даними для вирішення задачі оптимального розподілу УМР між ОБЗ є: загальне число УМР (M), кількість групових ОБЗ (k), кількість об'єктів у кожній групі (n_i), а також їх важливість (v_i , $i = 1, \dots, k$). Задача зводиться до визначення такого вектора розподілу груп УМР або засобів їх доставки $C(m_1, \dots, m_i, \dots, m_k)$ між груповими ОБЗ, 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 завдань УМР (m_i) на об'єкті i -го типу. Припускаючи неперервність та диференцируемість показника ефективності, задачу вирішуємо методом невизначених множників Лагранжа [3].

Для прийнятих допущень імовірність виконання повного обсягу робіт УМР набере вигляду

$$P_i(m_i) = 1 - \exp\left[-\frac{m_i R_i^2}{2\sigma_{\text{пн}}^2}\right], \quad (3)$$

де R_i – радіус кругової області виконання завдань УМР на i -му груповому об'єкті (для ступінчастого закону), $\sigma_{\text{пн}}$ – середнє квадратичне відхилення центра області впливу відносно групового об'єкта (припускається нормальне кругове розсіювання). Визначення вектора розподілу груп УМР або засобів їх доставки знаходиться із співвідношення

$$v_i R_i^2 \exp\left[-\frac{m_i R_i^2}{2\sigma_{\text{пн}}^2}\right] = v_k R_k^2 \exp\left[-\frac{m_k R_k^2}{2\sigma_{\text{пн}}^2}\right], \quad (4)$$

звідки

$$m_i = m_k \left(\frac{R_k}{R_i}\right)^2 - \frac{2\sigma_{\text{пн}}^2}{R_i^2} \ln\left(\frac{v_k R_k^2}{v_i R_i^2}\right). \quad (5)$$

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 $\bar{m}_i = \text{ent } m_i$. Універсальні роботи, які залишились, тобто $\Delta M = M - \sum_{i=1}^k \bar{m}_i n_i$ розподіляються

послідовно на той груповий об'єкт, для якого маргінальна ефективність впливу максимальна

$$i \rightarrow \max_i [P_i(\bar{m}_i + 1) - P_i(\bar{m}_i)]. \quad (6)$$

При пошуку оптимальних маршрутів мобільних роботів необхідно враховувати, що пересування УМР знаходиться під впливом конфліктного середовища.

Під конфліктним середовищем будемо розуміти сукупність різноманітних предметів (рухомих та нерухомих), розташованих у зоні пересування УМР, наближення мобільного робота до яких небажано.

Таким чином, для правильного розв'язання задачі синтезу компромісно-оптимальних маршрутів пересування роботів, що рухаються у конфліктному середовищі, необхідно щоб методика розрахунку цих маршрутів дозволяла враховувати вид перешкод, та на підставі його властивостей, кількісно оцінити вплив конфліктного середовища на траєкторію пересування мобільного робота. Розпізнавання перешкод включає в себе ряд кроків:

- сприйняття образу (технічне вимірювання);
- попереднє опрацювання отриманого сигналу (фільтрація);
- виділення потрібних характеристик (індексація);
- класифікація перешкод та прийняття рішення.

На першому кроці для сприйняття образу можна використовувати сприймаючий елемент типу HiTechnic. Він може працювати в трьох режимах: відрізняти шість кольорів, чи розподіляти сприйнятий колір на три кольори режиму RGB (червоний, зелений, синій); фіксувати зовнішнє освітлення і видавати результат в умовних одиницях; фіксувати відбите світло, створене власним випромінювачем і видавати результат в умовних одиницях. Для попереднього опрацювання (фільтрації) вхідних образів доцільно використовувати Вейвлет-аналіз, який базується на використанні вейвлетів, що являють собою математичні функції та дозволяють аналізувати різні частотні компоненти. У загальному випадку такий аналіз відбувається в площині: вейвлет-коефіцієнт – час – рівень. Самі вейвлет-коефіцієнти визначаються інтегральним перетворенням

сигналу. Отримані вейвлет-спектрограми принципово відрізняються від рядів Фур'є тим, що дають чітку прив'язку спектра особливостей сигналу до часу.

Третій та четвертий кроки розпізнавання образів, як правило, об'єднуються в системі розпізнавання образів (СРО), яка і є головним елементом такого інтелектуального комплексу. Алгоритм синтезу СРО є достатньо відпрацьованим: отримання тренувальної вибірки, вибір способу представлення даних та значимих характеристик, розробка класифікуючого критерію, навчання СРО, перевірка якості роботи з можливістю повернення до кроку 2 (або навіть і 1), оптимізація СРО [2 – 5].

Як відомо, протягом дослідження проблем розпізнавання образів виокремились два основні підходи – детерміністичний та статистичний. Перший підхід включає в себе математичні формалізовані емпіричні і евристичні методи, другий – базується на фундаментальних результатах математичної статистики. Однак, під час практичної реалізації відповідних інтелектуальних систем строго розподілити їх досить складно, а інколи і неможливо.

До проміжного класу СРО можна віднести і нейронні мережі (НМ). Традиційна для такого підходу щодо вирішення задач розпізнавання образів нейромережева архітектура – багатопшаровий перцептрон. Враховуючи налагодженість програмних засобів та здатність до адаптивного підлаштування в умовах динамічної розмитості технологічної інформації, саме цей математичний апарат доцільно використовувати для створення СРО. Після визначення виду перешкоди вирішується задача синтезу компромісно-оптимальних траєкторій УМР у конфліктному середовищі. Для розв'язання даної задачі запропоновано метод багатокритеріального динамічного програмування, суть якого полягає в наступному [6, 7]. Відправна задача приводиться до дискретного виду. Для цього область простору станів, що нас цікавить, накривається n -арною мережею $N^{(1)} \times N^{(2)} \times \dots \times N^{(n)}$, при цьому вважається, що зображуючі точки можуть переміщуватися тільки з одного вузла цієї мережі до іншого.

Вузли мережі, розташовані в заборонених областях, будемо називати забороненими точками. Шукана траєкторія не може проходити через ці точки ні за яких обставин. У вузлах мережі, розташованих у безпосередній близькості від конфліктуючих предметів та меж заборонених зон (у тому випадку, якщо наближення до заборонених зон небажано), розміщують (y^*, x^*) – точки-носії потенціалу небезпеки. Усі інші вузли мережі є точками допустимої області, у якій і виконується пошук оптимальної траєкторії.

Для кількісної оцінки небезпеки наближення УМР до конфліктуючих предметів застосовується метод потенційних функцій [6 – 7]. В якості потенційної функції обрана функція наступного виду

$$P(\rho) = K \cdot e^{-\alpha\rho}, \quad (7)$$

де $\rho = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2}$; (x^*, y^*) – координати точок-носіїв потенціалу небезпеки (пасивних конфліктуючих предметів); (x, y) – координати мобільного об'єкту; α та K – позитивні коефіцієнти, що визначають ступінь небезпеки наближення до тих або інших конфліктуючих предметів (задаються евристично). Далі для кожної точки з допустимої області визначається сумарний потенціал близькості до конфліктуючих предметів.

Довжина шляху характеризується довжиною переходу з рівня $j-1$ по координаті y на рівень j . При цьому вважається, що УМР, знаходячись в одній із допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі, може переходити лише в одну з допустимих точок на j -му рівні. Довжина переходу визначається за формулою

$$I_{j-1,i}^{j,m} = \sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_j - y_{j-1})^2}, \quad (8)$$

де (x_i, y_{j-1}) – координати УМР на $j-1$ -му рівні мережі; (x_m, y_j) – координати допустимої точки на j -му рівні мережі.

Враховуючи те, що критерій, який оцінює небезпеку від зближення "свого" та "чужого" об'єктів, повинен мінімізуватися, вибрана функція $\psi = \psi(R_{\min})$, яка убуває при зростанні відстані між ними

$$\psi = \exp(\mu R_{\min}), \quad (9)$$

де μ – позитивний коефіцієнт; R_{\min} – відстань між об'єктами (методика розрахунку R_{\min} наведена в [6]).

Задача синтезу оптимальної траєкторії руху в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів. При цьому для визначення оптимального шляху в кожну m -у допустиму точку по координаті x j -го рівня та по y на кожному кроці розв'язується функціональне рівняння Беллмана

$$\Phi(j, m) = \min_{i \in I_{j-1}} [\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} + \Phi(j-1, i)], \quad j \in [1, J], \quad (10)$$

з граничною умовою $\Phi(0, s) = 0$, де j – кількість рівнів переходу по координаті y на мережі; I_{j-1} – кількість допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі; s – номер початкової точки по координаті x на нульовому рівні мережі; $\Phi(j, m)$ – сумарні втрати по узагальненому критерію оптимальності при переході з початкової точки $(0, s)$ в точку (j, m) мережі; $\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m}$ – прирощення узагальненого критерію при переході з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

В узагальнений критерій якості входять три приватних критерії. Перший кількісно визначає ступінь небезпеки наближення до конфліктуючих предметів. Другий характеризує довжину переходу з точ-

ки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі. Третій приватний критерій визначає ступінь небезпеки наближення до рухомого "чужого" об'єкта під час переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

Структура узагальненого критерію будується у відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів [6 – 7] та визначається виразом

$$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{j,m}} + \frac{I_{\max}}{I_{\max} - I_{j-1,i}^{j,m}} + \frac{\Psi_{\max}}{\Psi_{\max} - \Psi_{j-1,i}^{j,m}}. \quad (11)$$

В якості оптимальної на рівні j вибирається та допустима точка даного рівня, якій відповідає мінімум сумарних втрат по узагальненому критерію оптимальності.

Для розв'язання задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій мобільного об'єкта в конфліктному середовищі, що складається з активних конфліктуючих предметів (активне конфліктне середовище), пропонується також застосовувати метод багатокритеріального динамічного програмування. Основну складність при розв'язанні задач з активними конфліктуючими предметами являє кількісна оцінка ступеня небезпеки наближення до них, яка, як вже було сказано вище, визначається значеннями коефіцієнтів K та α в виразі (7). Існують різні підходи до розв'язання даної проблеми. Так, наприклад, для визначення значень коефіцієнтів K та α може бути використаний метод експертних оцінок. Згідно з цим методом група фахівців в області, для якої виконується даний розрахунок, визначає значення коефіцієнтів на підставі власного досвіду та наявної об'єктивної інформації про активні конфліктуючі предмети. Але даний підхід досить суб'єктивний. Більш ефективно зв'язати математичними виразами значення коефіцієнтів K та α з характеристиками, притаманними даним активним конфліктуючим предметам. При цьому ступінь небезпеки наближення УМР до активних конфліктуючих предметів буде функціонально залежати від конкретних типів предметів, що застосовуються. Іншими словами, чим більш високі характеристики має даний тип активних

конфліктуючих предметів, тим вищий ступінь небезпеки він створює для мобільного об'єкта.

Висновок

Таким чином, розроблено математичний апарат організації пересування УМР, який базується на основі сумісного використання методів розпізнавання образів, оптимального розподілу УМР між ОБЗ та багатокритеріальної оптимізації, що забезпечує вирішення задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху універсальних мобільних роботів з розпізнаванням перешкод у конфліктному середовищі.

Список літератури

1. Пелихов Е.Ф. Экономическая эффективность инноваций: [Монография] / Е.Ф. Пелихов; Нар. укр. акад. – Х. : Изд-во НУА, 2005. – 167 с.
2. Фукунава К. Автоматическое распознавание образов / К. Фукунава. – М.: Наука, 1979. – 367 с.
3. Ильичев А.В. Эффективность проектируемых элементов сложных систем: учеб. пос. / А.В. Ильичев, В.Д. Волков, В.А. Груцанский. – М.: Высшая шк., 1982. – 280 с.
4. Лисенко В.П. Ймовірнісна (Байєсівська) нейронна мережа класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, А.О. Дудник // Вісник аграрної науки. – К.: НААН. – 2011. – № 4. – С. 53-56.
5. Лисенко В.П. Застосування теорії статистичних рішень та ймовірнісної нейронної мережі для класифікації температурних образів / В.П. Лисенко, В.М. Штепа, Б.Л. Головінський, А.О. Дудник, Н.А. Засць // Тези доповідей міжн. YGR "Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту". – Херсон: ХНТУ. – 2011. – С. 274-278.
6. Воронин А.Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А.Н. Воронин. – К.: Наукова думка, 1992. – 157 с.
7. Підхід до вирішення задачі компромісно-оптимального вибору маршруту руху об'єктів в конфліктному середовищі / С.А. Шворов, А.М. Берназ, О.І. Бурчак [та ін.] // Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К.: RYE, 2008. – № 19. – С. 63-71.

Надійшла до редколегії 8.09.2012

Рецензент: д-р техн. наук доц. І.Ю. Субач, ВІПІ НТУ України «КПІ», Київ.

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С РАСПОЗНАВАНИЕМ ПРЕПЯТСТВИЙ

С.А. Шворов

Рассмотрены задачи организации передвижения мобильных роботов с распознаванием препятствий в конфликтной среде. Описано решение задачи синтеза маршрутов передвижения мобильных роботов с использованием нейросетевых структур для распознавания образов.

Ключевые слова: мобильный робот, маршруты передвижения, многокритериальный синтез, препятствие, нейронная сеть, адекватность.

MATHEMATICAL VEHICLE OF ORGANIZATION OF MOBILE ROBOTS' MOVEMENT WITH RECOGNITION OF OBSTACLES

S.A. Shvorov

Discussed problems of the organization of movement of mobile robot obstacle detection in a conflict environment. Described problem of synthesis routes of movement of mobile robots using neural network structures for pattern recognition

Keywords: mobile robot, travel routes, multicriteria synthesis, obstruction, a neural network adequacy.