

$$Af_{ij} = (I + \Phi(P))^{-1}, \quad i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где $\Phi(P)$ – евклидово расстояние (4).

В результате работы иммунного алгоритма лучшие по популяции антитела формируют популяцию клеток памяти, которая представляет множество нечетких правил вывода. Полное множество правил в модели СППР для реальных задач может быть достаточно велико. Если для описания наблюдения используются n переменных, каждая из которых имеет m термов, то верхняя оценка числа правил составляет m^n . Для сокращения мощности множества правил необходимо в этом множестве выделить некоторое минимальное подмножество наблюдений, исключив избыточные и противоречивые правила. Данную задачу в предлагаемом иммунном алгоритме выполняет иммунный оператор супрессии, который обеспечивает сжатие популяции путем связывания антител в зависимости от значения их аффинности относительно других антител популяции. Антитела с минимальной аффинностью удаляются из популяции в соответствии с установленным порогом сжатия сети, что приводит к уменьшению числа правил в базе знаний эволюционной СППР.

Эволюционирование модели СППР рассматривается как задача ее адаптации к условиям изменения внешней среды и свойств ОПР, состоящая из процедур параметрической и структурной адаптации, использующих иммунные модели клонального отбора и aiNet [6]. Параметрическая адаптация включает в себя процедуру изменения значений параметров ФП, принцип действия которой заключается в изменении параметров термов всех лингвистических переменных. Структурная адаптация включает в себя процедуру редукции числа правил вывода, изменяя мощность правил путем исключения избыточных или добавления новых. Т.о., целью эволюции СППР является поиск такой модели, с таким набором правил вывода и их параметров, для которой качество принятия решений будет наилучшим в данный момент времени. Проведены экспериментальные исследования на тестовых примерах, которые подтвердили эффективность предложенной эволюционной модели СППР, использующей нечеткую логику и иммунный подход.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Стадниченко С.Ю. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений / С.Ю. Стадниченко // Молодой ученый. – 2010. – № 6. – С. 61-63.
2. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности / В.Е. Снитюк. – К.: «МП Леся», 2015. – 347 с.
3. Комарцова Л.Г. Эволюционные методы формирования нечетких баз правил / Л.Г. Комарцова // Материалы международной конференции OSTIS-2011, С. 181-184.
4. Комарцова Л.Г. Исследование нейросетевых алгоритмов обучения в интеллектуальных эволюционных системах / Л.Г. Комарцова, Ю.Н. Лавренков, О.В. Антипова // Материалы IV-й международной конференции OSTIS-2014, С. 233-238.
5. Korablev N. Immune Approach for Neuro-Fuzzy Systems Learning Using Multiantibody Model / N. Korablev, I. Sorokina // ICARIS 2011, Springer Lecture Notes in Computer Science. – 2011. – Vol. 6825. – P. 395–405.
6. Dasgupta D. Recent Advanced in Artificial Immune Systems: Models and Applications / D. Dasgupta, S. Yu, F. Nino // Applied Soft Computing. Elsevier, 2011. – P. 1574-1587.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ РУХОМИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ГРУП ПРИ ОБСТЕЖЕННІ ТЕРИТОРІЇ

Корольов В.Ю., Огурцов М.І., Ходзінський О.М.

*Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України,
03187, м. Київ-187, просп. Академіка Глушкова, 40,
incyb@icyb.kiev.ua*

Вступ. Задача маршрутизації транспорту (Vehicle Routing Problems, VRP) полягає у виявленні та оптимізації маршруту до заданих точок для транспортних засобів (ТЗ), що знаходяться у депо [1]. В даній роботі пропонується дослідити задачу математичного моделювання маршрутів руху для групи рухомих дистанційно керованих систем – безпілотних літальних апаратів (БПЛА) і безпілотних наземних роботів [1-3]. Побудова маршрутів для виконання завдань груп БПЛА, які можливо буде виконувати у польових умовах, є актуальною науково-прикладною задачею.

Основна частина. Розглянемо змістовну постановку транспортно-комунікаційної задачі побудови маршрутів руху для групи БПЛА для обстеження певної території для виконання математичного моделювання побудови їх маршрутів.

Умови. Є певна територія, на якій слід виконати досліджувані заходи. Вона може містити місця особливого інтересу, що потребують першочергової уваги і обов'язково мають бути відвідані. Крім того, задачею є виконати розвідку наявними БПЛА якомога більшого відсотку заданої території за вказаний час із зазначеними витратами пального. Виконаємо формалізацію задачі для побудови її математичної моделі.

Вхідні дані:

- 1) Координати границь території, що потребує обстеження.
- 2) Координати місць особливого інтересу.
- 3) Координати депо (точки, з яких можуть запускатись БПЛА).
- 4) Координати місця посадки БПЛА.
- 5) Кількість БПЛА, що можуть бути застосовані для розв'язання даної задачі.
- 6) Додаткові умови та обмеження.

Параметри:

- 1) Максимально допустима дальність польоту БПЛА.
- 2) Максимальна дальність передачі сигналу.
- 3) Максимальна швидкість БПЛА, середня швидкість БПЛА.

Вихідні дані:

Побудований маршрут кожного БПЛА.

Критерії:

- 1) Обстеження якомога більшого відсотку території.
- 2) Мінімізація сумарного шляху руху БПЛА.

Маршрутизація транспорту відноситься до комбінаторних задач, які можна подавати як оптимізаційні задачі на графі $G(V, E)$. Маршрутизація ТЗ є актуальною NP-важкою науковою задачею [1-2]. Але у даному випадку відсутні конкретні точки для відвідування, є лише територія, яку слід обстежити. На цій території можуть бути певні точки особливого інтересу, що мають бути обов'язково обстежені. Але також необхідно обстежити якомога більшу частину усієї території з урахуванням обмежень (пальне та кількість БПЛА).

Розглянемо шлях розв'язання поставленої задачі. Територія, що має бути обстежена, розбивається на квадрати, розмір квадрату дорівнює зоні обстеження ТЗ з однієї точки (зоні чіткої видимості з центру цього квадрату). В центрі кожного з цих квадратів ставиться точка, формуючи таким чином множину точок. Тоді у випадку, якщо ТЗ відвідають кожен з цих точок, уся територія буде повністю обстежена. Місця особливого інтересу зсуваються до центрів квадратів, в яких вони знаходяться. Це місця підвищеної уваги – міста та селища, дороги, місця потенційних засідок тощо. Ці точки матимуть значно вищу вагу у розв'язку, ніж звичайні точки, і формують підмножину V_e . У результаті разом з координатами депо ці точки формують підмножину множини точок V .

Математична модель. Є заданий ряд точок V , які треба відвідати для розвідки. Вони представляють собою множину точок $v_s... v_n$. Є множина депо $v_0, ... v_p$, або точок, з яких можуть стартувати БПЛА. На основі цих двох множин будується плоский планарний граф, накладений на карту.

Введемо такі позначення.

$G(V, E)$ – граф;

$V = \{v_0, ... v_p, v_s..., v_n\}$ – множина вершин ($v_0, ... v_p$ – депо, $v_s... v_n$ – точки, що бажано відвідати);

$V_e = \{v_s..., v_k\}$ – підмножина множини V , складається точок, що слід обов'язково відвідати;

E – множина ребер $\{(v_i, v_j) / i \neq j\}$;

C – матриця невід'ємних відстаней (вартості шляху) c_{ij} між точками;

m – кількість БПЛА;

R_i – маршрут i -ого БПЛА ($i=1..m$);

R – сукупність маршрутів R_i ($i=1..m$);

$C(R_i)$ – вартість маршруту R_i ;

$K(V_i)$ – вага кожної вершини, що визначає важливість її відвідування (вища для підмножини V_e);

q_i – ресурс руху i -ого БПЛА.

Кожна вершина V_i має набір координат X_i, Y_i – це координати клієнта. Завдання маршрутизації полягає у визначенні такої множини маршрутів m з мінімальною загальною вартістю, щоб кожна вершина підмножини $V_e = \{v_s..., v_n\}$ була відвідана тільки одним БПЛА і тільки один раз. Після цього ТЗ мають відвідати якомога більшу кількість точок ($v_k ... v_n$). Крім того, всі маршрути повинні починатися і закінчуватися в будь-якій точці з множини депо ($v_0, ... v_p$).

Розв'язком задачі є розбиття множини V на підмножини (маршрути) та виконання порядку обходу на кожній підмножині (перестановка вершин маршруту). Розв'язки задачі, при яких не всі точки з множини V_e відвідуються, є недопустимими.

Цільовою функцією в загальному випадку є вартість розв'язку задачі:

$$F_{VRP} = \frac{\sum K(V_i)}{\sum C(R_i)}, \quad (1)$$

де $K(V_i)$ – вага відвіданих точок маршруту R_i , $i = 1, \dots, m$

$C(R_i)$ – сума довжин ребер маршруту R_i , $i = 1, \dots, m$.

У даному варіанті потрібно знайти допустимий розв'язок з максимальним значенням цільової функції. Також введено такі обмеження для умов задачі:

- кожна вершина множини V_e обов'язково має бути відвідана, і тільки один раз;
- довжина кожного маршруту R_i не повинна перевищувати максимальної дальності польоту q_i .

Таким чином, ця задача зводиться до задачі **Multiple Depot VRP, MDVRP** (або транспортна задача з декількома депо) з додатковими обмеженнями.

Для **розв'язування задачі** в першу чергу відвідуються усі критично важливі точки з підмножини V_e . Далі (після того, як усі критично важливі точки відвідані) ТЗ мають відвідати якомога більше некритичних точок з множини V . Для побудови оптимального маршруту слід оцінити ваги ребер.

Для розв'язання поставленої задачі та мінімізації цільової функції (1) слід обраним методом побудувати для подальшої оптимізації початковий набір маршрутів, що включатиме маршрут для кожного ТЗ. Маршрути можна представити у наступному вигляді:

$$V_1 = \{\{v_{11} \dots v_{1N}\}, \{v_{21} \dots v_{2D}\} \dots, \{v_{m1} \dots v_{mK}\}\}. \quad (2)$$

Кожен з векторів відноситься до окремого ТЗ. Разом вони формують загальний вектор маршрутів, що підлягає обрахунку цільової функції та оптимізації.

Сума вартостей відповідно до формули (1) складе потрібну нам цільову функцію.

На векторі, отриманому за формулою (2), можна виконувати ітеративний оптимізаційний процес, шукаючи кращі розв'язки в околі шляхом застосування локального пошуку. В результаті ми розвиваємо отриману математичну модель одразу у двох напрямках – це й задача маршрутизації ТЗ з декількома депо і класична оптимізаційна задача на просторі перестановок. Для класичної задачі відомі ефективні та швидкі алгоритми пошуку наближених та оптимальних розв'язків, що дозволить значно спростити розв'язування задачі маршрутизації ТЗ [3,4].

Висновки. Предметом розгляду стала змістовна постановка задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території. Проблема зведена до задачі маршрутизації ТЗ з декількома депо із додатковими обмеженнями. Для класичної задачі відомі ефективні та швидкі алгоритми пошуку наближених розв'язків [4], що дозволить значно спростити розв'язування задачі маршрутизації ТЗ, яка є NP-складною задачею. В подальшому планується виконувати математичне моделювання з використанням методів та алгоритмів комбінаторної оптимізації на просторі перестановок для порівняльного аналізу ефективності пошуку розв'язків описаної задачі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Огурцов М.І., Ходзінський О.М. Про формалізацію задачі маршрутизації транспортних засобів при обстеженні території / М.І. Огурцов, О.М. Ходзінський // Праці VIII Міжнародної школи-семінару "Теорія прийняття рішень". Ужгород, 26 вересня – 1 жовтня 2016р., – 2016. – С.198-199.
2. Гуляницький Л. Ф., Самусь А. В. Решение N-методом задачи оптимизации маршрутов транспортных средств с временными окнами / Л. Ф. Гуляницький, А. В. Самусь // Компьютерная математика. – 2012. - №2. – С. 147-155.
3. Огурцов М.І., Ходзінський О.М. Розробка алгоритмів розв'язання задачі маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами / М.І. Огурцов, О.М. Ходзінський // Комп'ютерна математика. - 2016. - №1. — С. 134 – 142.
4. Гуляницький Л.Ф., Мулеса О.Ю. Прикладні методи комбінаторної оптимізації: навч. посіб. / Л.Ф. Гуляницький, О. Ю. Мулеса.- К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016.- 133 с.