

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ІНТЕРВАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ СТАТИЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ

Дзига Ю.В.

*Західноукраїнський національний університет
аспірант*

I. Постановка проблеми

У статті розглянуто підходи до ідентифікації інтервальних моделей статичних систем з використанням методів ройового інтелекту [1]. Наведено огляд основних методів, що використовуються для побудови інтервальних моделей, та проаналізовано їхні переваги і недоліки. Запропоновано перспективні напрямки розвитку підходів на основі ройового інтелекту, які дозволяють підвищити точність та надійність ідентифікації.

Ідентифікація моделей систем є однією з ключових задач у сфері моделювання та керування складними системами [2-4]. Особливий інтерес представляють інтервальні моделі [5], які дозволяють враховувати невизначеність та варіабельність параметрів системи. У сучасних дослідженнях активно використовуються методи ройового інтелекту (swarm intelligence), що імітують колективну поведінку соціальних організмів (наприклад, мурах, бджіл, рибних косяків) для вирішення складних оптимізаційних задач [6].

II. Мета роботи

Метою дослідження є аналіз існуючих методів ройового інтелекту (swarm intelligence), які доцільно використовувати для ідентифікації математичних моделей складних систем.

III. Методи ройового інтелекту в ідентифікації інтервальних моделей

Ройовий інтелект включає в себе декілька методів, серед яких найпоширенішими є алгоритми оптимізації на базі мурашиної колонії (ACO), оптимізації рою частинок (PSO), та штучних бджолиних колоній (ABC) [7]. Кожен із цих методів має свої особливості та області застосування.

Оптимізація рою частинок (PSO). Цей метод є одним із найбільш популярних у сфері оптимізації. Основою методу є симуляція руху частинок у просторі параметрів, де кожна частинка намагається знайти оптимальне значення параметра за допомогою власного досвіду та досвіду сусідів. PSO дозволяє ефективно шукати глобальні екстремуми у великих просторах параметрів, що робить його привабливим для ідентифікації інтервальних моделей.

Оптимізація на базі мурашиної колонії (ACO) [8] імітує поведінку мурах під час пошуку їжі, що дозволяє вирішувати задачі комівояжера та інші оптимізаційні задачі, де важливо знайти оптимальний шлях або послідовність дій. Використання ACO для ідентифікації інтервальних моделей дозволяє обчислювати оптимальні інтервали параметрів за допомогою ефективного обстеження простору рішень.

Штучна бджолина колонія (ABC) [9] моделює поведінку бджіл під час пошуку нектару, де кожна бджола відповідає за обстеження певної області простору рішень. Цей метод дозволяє ефективно знаходити локальні екстремуми та застосовується для уточнення інтервалів параметрів у процесі ідентифікації моделей.

IV. Порівняльний аналіз методів

Для оцінки ефективності методів ройового інтелекту в задачах ідентифікації інтервальних моделей статичних систем важливо враховувати кілька критеріїв, таких як точність ідентифікації, обчислювальна складність, швидкість збіжності, та стійкість до локальних екстремумів.

Точність ідентифікації. PSO забезпечує високу точність завдяки здатності швидко знаходити глобальний екстремум. Водночас ACO та ABC мають схильність до швидкої збіжності, але можуть бути менш ефективними у випадку багатовимірних задач з великою кількістю локальних екстремумів.

Різні методи ройового інтелекту мають різний рівень обчислювальної складності, що впливає на їхню придатність для конкретних задач. Розглянемо детальніше аналіз складності наведених вище алгоритмів.

Оптимізація рою частинок (PSO). Обчислювальна складність PSO залежить від кількості частинок у рої та кількості ітерацій, необхідних для досягнення збіжності. Загальну складність можна

оцінити як $O(N \cdot T \cdot D)$, де N — кількість частинок, T — кількість ітерацій, а D — розмірність простору пошуку (кількість параметрів). PSO є порівняно ефективним методом, оскільки кожна частинка вимагає лише обчислення своєї нової позиції на основі власного і глобального досвіду, що зменшує обчислювальні витрати порівняно з іншими методами.

Оптимізація на базі мурашиної колонії (ACO). Обчислювальна складність ACO є значно вищою через необхідність симуляції поведінки великої кількості мурах, які шукають оптимальний шлях, обчислюючи феромонні сліди та виконуючи локальні пошуки. Складність ACO можна оцінити як $O(M \cdot T \cdot C)$, де M — кількість мурах, T — кількість ітерацій, а C — складність обчислення критерію якості на кожному кроці (залежить від задачі). ACO зазвичай вимагає значних ресурсів для моделювання феромонних карт та обчислення маршрутів кожної мурашки, що збільшує час виконання, особливо при великих розмірах задачі.

Штучна бджолина колонія (ABC). Метод ABC також має високу обчислювальну складність, яка залежить від кількості бджіл та ітерацій. Загальна складність ABC можна оцінити як $O(B \cdot T \cdot E)$, де B — кількість бджіл, T — кількість ітерацій, а E — кількість обчислень для оцінки якості розв'язку. Оскільки кожна бджола виконує окреме обстеження простору рішень, метод ABC може вимагати більше часу для збіжності, особливо в задачах з високою розмірністю або складною структурою простору пошуку.

Загалом, PSO є менш ресурсозатратним методом порівняно з ACO та ABC завдяки простішому механізму обчислень та меншій кількості необхідних операцій на кожному етапі. Однак, ACO та ABC можуть забезпечувати кращу якість рішень у складних задачах завдяки більш інтенсивному обстеженню простору рішень, хоча це й вимагає більшого обсягу обчислень. Швидкість збіжності. PSO характеризується швидкою збіжністю до оптимального рішення, однак може застрягнути в локальних екстремумах. ACO, завдяки своїй колективній природі, може краще досліджувати простір рішень, але має повільнішу збіжність у випадку складних задач.

Висновок

У роботі досліджено методи ройового інтелекту, такі як PSO, ACO та ABC, які є потужними інструментами для ідентифікації інтервальних моделей статичних систем. Кожен із розглянутих методів має свої переваги та недоліки, що визначають області їх застосування. PSO є найбільш ефективним для задач, де важлива швидкість та точність ідентифікації, тоді як ACO та ABC можуть бути корисними в задачах з високою невизначеністю та складною топологією простору рішень. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на комбінування цих методів для підвищення надійності та точності ідентифікації.

Список використаних джерел

1. Смірнов О. О., Бондаренко О. А. Застосування методів ройового інтелекту для ідентифікації інтервальних моделей // Математичне моделювання та обчислювальні методи. — 2018. — Т. 14, № 2. — С. 94-102.
2. Dyvak M., Pukas A., Manzhula V., Kasatkina N., Komar M., Zabchuk V. The Task of Parametric Identification the Interval Models with Nonlinear Parameters. - 2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT).- 2022. - p. 106-111.
3. Крепич С.Я. Моделирование та забезпечення функціональної придатності статичних систем методами аналізу інтервальних даних/ дисертація на здобуття ступ. к.т.н. — Тернопіль, 2016. 166с.
4. Крепич С.Я., Співак І.Я. Оцінювання часової складності застосування методу Монте-Карло та інтервального аналізу даних для встановлення функціональної придатності РЕК. Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: Матеріали III Всеукраїнської школи-семінару молодих вчених і студентів ACIT'2013. — Тернопіль: Економічна думка, 2013. — С.36-37
5. Dyvak M., Porplytsya N., Spivak I., Tymchyshyn V., Krepych S., Taraj M.. The Method of Modeling the Characteristics of a Swarm of UAVs as an Object with Distributed Parameters Based on the Analysis of Interval Data. 2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). — 2023. — p. 165-169
6. Eberhart R., Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory // Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science. — 1995. — P. 39-43.
7. Karaboga D., Basturk B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm // Journal of Global Optimization. — 2007. — Vol. 39, No. 3. — P. 459-471.
8. Dorigo M., Caro G. Di, Gambardella L.M. Ant algorithms for discrete optimization // Artificial Life. — 1999. — Vol. 5, No.2. — P. 137-172.
9. Voytyuk I., Porplytsya N., Pukas A., Dyvak T.. Identification the interval difference operators based on artificial bee colony algorithm in task of modeling the air pollution from vehicular traffic. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). — 2017. — p.58-62.