

Вирішення задачі калібрування на основі генетичного алгоритму

Олена Горда, к.т.н., доц. (ORCID: 0000-0001-7380-0533)¹ Костянтин Гаранський, здобувач.¹ (ORCID: 0009-0006-5513-5158)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, 03037, м. Київ, проспект Повітряних Сил, 31, Україна

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена вирішенню задачі калібрування методом генетичного алгоритму на прикладі налаштування роботів-маніпуляторів. Описано методи налаштування, зокрема кінематичні моделі та генетичні алгоритми. Наведено результати тестування, які підтверджують високу точність та ефективність алгоритму.

Ключові слова: генетичні алгоритми, штучний інтелект, адаптивне управління, машинне навчання, алгоритми оптимізації

1. ВСТУП

Калібрування – це процес налаштування приладу або моделі таким чином, щоб їхні показники відповідали реальним значенням. Це важлива процедура в багатьох наукових, технічних та комерційних сферах, оскільки забезпечує точність вимірювань та прогнозів. В роботі задача калібрування розглядатиметься на прикладі роботи робота-маніпулятора.

2. МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є аналіз та розробка генетичного алгоритму в межах задачі калібрування для управління роботом-маніпулятором на основі ланцюгових механізмів.

3. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Якщо ми говоримо про роботу маніпулятора в розрізі проблеми його калібрування, в першу чергу маємо згадати про його структуру, функціональність та параметри.

За своєю структурою маніпулятор – це багатоланкова система, між окремими елементами якої існують механічні зв'язки. Серед елементів робота маніпулятора варто виділяти наступні: стійка, ланки, зв'язки та функціональна кінцівка А [1]

Функціональна схема управління маніпулятором у загальному вигляді представлена на рис. 1.17.

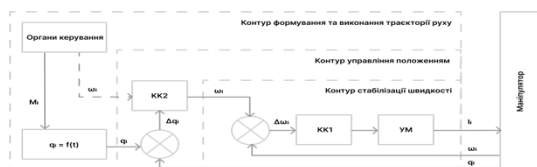


Рис. 1.17 Функціональна схема управління маніпулятором

На схемі (рис. 1.17) позначені наступні елементи:

- KK1 – коректуючий контур (регулятор) стабілізації швидкості обертання ланок маніпулятора;
- УМ – підсилювач потужності, що перетворює широтно-модульовані сигнали управління у вихідний струм виконавчих органів маніпулятора;
- KK2 – коректуючий контур (регулятор) положення ланок маніпулятора;
- q_i – миттєві кути орієнтації ланок маніпулятора;

- ω_i – миттєві кутові швидкості повороту ланок маніпулятора;

- I_i – струми у виконавчих електродвигунах маніпулятора.

Для представлення параметрів маніпулятора у роботі застосовується метод Денавіта-Хартенберга [2]. Він дозволяє визначати положення та орієнтацію кожного суглоба маніпулятора відносно попереднього суглоба через чотири параметри:

- θ_i : Кут обертання навколо осі z_{i-1} . Це змінний параметр для обертових суглобів.

- d_i : Відстань вздовж осі z_{i-1} між попередньою та поточною ланкою.

- a_i : Відстань між осями z_{i-1} та z_i вздовж осі x_i .

- α_i : Кут між осями z_{i-1} та z_i навколо осі x_i .

В результаті проведеного аналізу маємо проблему, яка полягає у постійному контролі точності пересувань маніпулятора. Основна задача – розробити алгоритм для автоматизованого налаштування, або калібрування робота маніпулятора.

Вхідні дані:

1. Кінематична модель робота (ДН параметри),
2. Задане положення та орієнтація кінцевого ефектора.
3. Вимірні координати кінцевого ефектора.

Вихідні дані:

1. Скориговані кути шарнірів (θ_i).
2. Модель корекції кутів.

4. КАЛІБРУВАННЯ РОБОТА МАНІПУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

Задача керування роботом-маніпулятором має на меті перевести маніпулятор у конкретну точку простору, що задається координатами x , y , z , проте робот приходиться у координати x' , y' , z' . Наша задача полягає у тому, щоб маючи експериментальні дані знайти залежність та оптимізувати прицільність маніпулятора. Щоб перетворити кути між ланками в координати і навпаки маємо застосуємо поняття прямої та зворотної кінематики.

Таким чином можемо звести задачу до задачі регресії [3], у якій будемо шукати залежності кутів, відповідно до координат які ми вводимо та кутів, які отримуємо в результаті роботи програми.

Генетичний алгоритм є методом оптимізації, натхненним принципами природного відбору та еволюції,

які використовуються для знаходження рішень складних задач [4]. У контексті калібрування маніпулятора, генетичний алгоритм використовується для пошуку формул розрахунку кутів для точного позиціонування функціональної кінцівки [5].

Реалізація генетичного алгоритму включає кілька основних етапів, що забезпечують ефективну еволюцію популяції індивідів і знаходження оптимальних рішень:

Визначення генів та побудова хромосом. Гени можуть бути визначені як окремі змінні, оператори або константи, які використовуються в побудові хромосом. Хромосоми в даному алгоритмі представляють собою структури даних, що складаються з генів. В роботі вони представлені у вигляді дерев, де кожен вузол дерева є геном. Загальна схема популяції та її компонентів зображено на рис. 2.6.

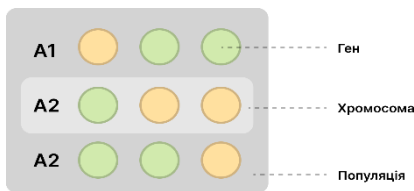


Рис. 2.6. Популяція генетичного алгоритму

Формування дерев. Древа використовуються для представлення складних рішень, де кожен вузол відповідає певній операції або функції, а листові вузли - аргументам або константам.

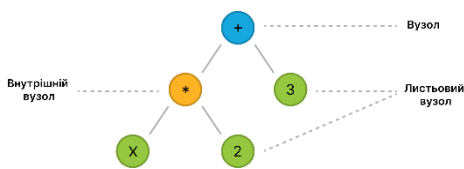


Рис. 2.7. Приклад побудови дерева

Оцінка пристосованості. Функція пристосованості (фітнес-функція) оцінює, наскільки добре кожен індивід вирішує поставлену задачу або задовольняє визначені критерії. У контексті задачі регресії, наша фітнес-функція вимірює різницю між прогнозованими та фактичними значеннями.

Визначення точки схрещування та критерію схрещування. Точка схрещування в таких структурах визначається вибором вузла в дереві, де буде виконано розрізання і обмін піддеревами між двома батьківськими деревами[6].

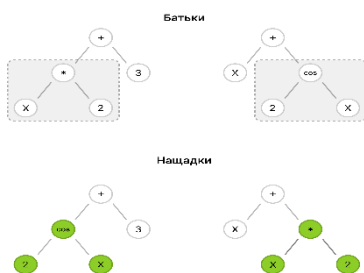


Рис. 2.8 Кросовер хромосом, представлених у вигляді дерев

5. РЕЗУЛЬТАТ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

Кінцевий результат роботи програми, а саме набір найкращих генів, можна представити у вигляді таблиці, де кожен кут суглобу, має власну функцію розрахунку.

Таблиця 3.1

Кут нахилу ланцюга	Аналітичне представлення
θ_1	$ 0.2488 \cdot \theta - (\cos(-0.2009) + \theta)$
θ_2	$(\sin(\theta) + \sin(\theta)) \cdot (\cos(0.4616) + \sin(0.4644))$
θ_3	$(-0.9998 + \theta) - 0.6550 $
θ_4	$(0.9061 - (-0.5868)) + (0.4885 + 0.3681)$
θ_5	$-7.6623 \times 10^{-6} + (-0.0722 \cdot \theta) + (\cos(\theta) \cdot \theta)$
θ_6	$\cos(\theta) + (-0.9999 + \theta) \cdot 0.3340 $
θ_7	$\sin(\theta)$

Рис. 3.8 демонструє, наскільки зменшилася помилка після калібрування.

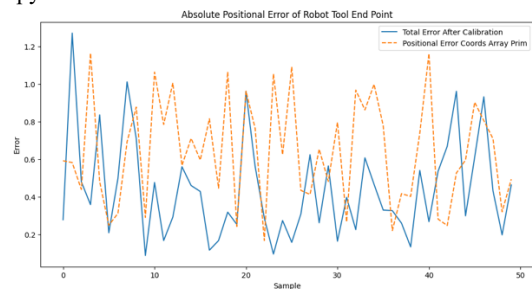


Рис. 3.8 Графік абсолютної позиційної помилки функціональної кінцівки робота маніпулятора

6. ВИСНОВКИ

У роботі проведено дослідження та розробку підсистеми калібрування роботів маніпуляторів методом генетичного алгоритму. Розглянуто основні етапи реалізації, а також проведено тестування та оцінку ефективності запропонованого підходу.

Список літератури

- [1] Craig J. J. Introduction to robotics: Mechanics and control. Upper Saddle River, NJ, USA : Pearson Education, 2005. 408 P.
- [2] Contributors to Wikimedia projects. Denavit—Hartenberg parameters - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Denavit—Hartenberg_parameters (date of access: 07.06.2024).
- [3] Seth Chandler. Symbolic Regression. Video 32., 2021. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=eMcBMvy_tlk (date of access: 07.06.2024).
- [4] Evolutionary Algorithms in Engineering Design Optimization. MDPI, 2022. URL: <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-2715-4> (date of access: 07.06.2024).
- [5] Symbolna rehresia. Khabr. URL: <https://habr.com/ru/articles/163195/> (data zvernennia: 07.06.2024).