

7.2 Застосування процесів нечіткої логіки при моделюванні систем управління

Розглянемо двигуни постійного струму, вони мають дуже широке застосування завдяки своїй основній характеристиці, яка полягає у здатності перетворювати електричну енергію постійного струму у механічну, що послужило створенню промислового обладнання з даним типом двигунів, застосуванню їх у якості приводів промислового устаткування, приводів електротранспорту, проводу виконуючих механізмів. Для того щоб забезпечити високу продуктивність двигуна постійного струму та спростити керування ним доцільно регулювати його швидкість. Для регулювання швидкості двигуна постійного струму та для вирішення багатьох задач з його використанням застосовується декілька контролерів: ПІД-регулятор, Fuzzy Logic Controller або їх поєднання. Задача полягає у проектуванні та побудові контролера двигуна постійного струму з застосуванням методів нечіткої логіки, тобто враховуючи нечіткі процеси, та оптимізації його роботи.

Поговоримо про розробку методів, які розглядаються. Виходячи з того, що дуже складно змодельовати систему управління та підібрати параметри оптимізації, для створення контролера нечіткої логіки застосовують методи оптимізації. Розробки в області досягнення оптимальності при управлінні системами надані у роботах [112, 113]. Одним з підходів до оптимізації управління при налаштуваннях систем з контролером є застосування побудови конструкції контролера за допомогою метода чисельної оптимізації з використанням потоку частинок. Але потрібно застосувати цей метод для функції приналежності при використанні нечіткої системи та знайти кращі параметри для запису функції приналежності та визначення приналежності до множин. Оптимізація за допомогою потоку частинок являє собою еволюційний алгоритм на основі стохастичного методу оптимізації, розроблений Еберхартом і Кеннеді в 1995 році. В цьому методі система представляється як множина випадкових рішень, а шукані потенційні рішення - частинками, які при набуті

певних значень, що вказані в умові задачі відносно оптимальності, надають оптимуму рішенню.

Концепція методу оптимізації полягає в наступному. Якщо всі рішення певної даної задачі розглядати як простір усіх можливих рішень, то кожне рішення має відповідні координати у цьому просторі, які можуть змінюватися. Тоді усі наближені рішення представлені як частинки при використанні методу потоку частинок. Кожна частинка відстежує координати оптимуму, оптимального рішення, в просторі проблеми, це пов'язано зі знаходженням кращого рішення, та змінює свої координати для пристосованості та для більшого наближення. Це значення позначимо p_b . А «найкраще» значення, яке буде отримано за допомогою оптимізації потоком частинок, буде представлено найкращим значенням, отриманим на даний момент будь-якою частинкою відносно інших частинок, позначимо це значення l_b . Коли розглядається увесь потік частинок як сусіди даної частинки, то найкраще значення буде глобальним найкращим значенням та позначається g_b .

Концепція методу оптимізації за допомогою потоку частинок полягає у тому, що у кожний проміжок часу змінюється швидкість або прискорення руху кожної частинки і це наближує значення її положення до значень p_b та l_b . Прискорення є зваженим, так як змінюється за допомогою випадкових чисел, що генеруються та обираються для прискорення руху частинок до положення з координатами або локацією p_b та l_b . В останні роки було показано, що метод оптимізації потоком частинок отримує кращі результати в більш швидкий спосіб по знаходженню оптимального рішення, а саме при управлінні за допомогою контролерів та при оптимізації їх роботи, порівняно з іншими методами [114]. Наведемо в узагальненому вигляді алгоритм методу, який розглядається, [115]:

Для кожної частинки, визначити частинку

Кінець циклу

Виконати у циклі до виконання умови

Для кожної частинки

обчислити значення придатності

Якщо пристосованість даної частинки має краще значення, ніж краще значення придатності pb при конкретних умовах досліду або

експерименту

прийняти поточне значення за нове pb

Кінець циклу

Обрати частинку з кращим значенням пристосованості серед всіх частинок, як gb

Для кожної частинки

обчислити швидкість частинок, оновити координати положення частинок

Кінець циклу

Умова: виконувати попередні кроки у циклі до тих пір, поки не буде досягнуто максимальної ітерації або мінімального критерію помилок.

Далі розглянемо застосування процесів нечіткої логіки для поставленої задачі. Fuzzy Logic є однією з форм логічного мислення, які можуть використовуватися для проектування систем автоматизації зі схемами міркування людини. Fuzzy теорія була вперше запропонована і досліджена Zadeh в 1965 р. Fuzzy Control є застосуванням автоматизації нечітких процесів логічного виводу, при цьому типовий контролер нечіткої логіки видає висновки з більш-менш простих правил бази знань. Налаштування та проектування контролера через характеристики нечіткої логіки, як правило, набагато простіше, бо відносно легко дізнатися, які правила впливають на поведінку регулятора в даній ситуації, а також набагато безпечніше, щоб мати можливість працювати з високим ступенем надлишковості, так як можна визначити конфліктуючі правила для подібних ситуацій, враховуючи що без цього система перестав працювати, надлишковість підвищує імунітет системи від помилок, які вже є у базі знань. Нечітку логіку та її методи, як інструмент, дуже доречно використовувати для моделювання та розробки контролерів, особливо з багатьма функціями, що дозволяє використовувати різні структури управління.

Нечітким логічним регулятором (НЛР) називається контролер, як елемент управління, що містить у своїй структурі блок нечіткого логічного виведення. Основна задача використання НЛР полягає у необхідності формалізації закону управління у вигляді нечітких правил, що задані для лінгвістичних змінних, для опису входів і виходів контролеру. Цей метод також базується на побудові функцій приналежності нечітким множинам, що формуються для лінгвістичних змінних відповідно до нечітких правил. Але в загальному випадку завдання налаштування НЛР є завданням оптимізації, для вирішення якої необхідна достатньо точна комп'ютерна модель об'єкта і потужний алгоритм глобального пошуку. При вирішенні поставленої задачі у якості алгоритму оптимізації обрано метод оптимізації за допомогою потоку частинок.

Далі розглянемо застосування системи комп'ютерної математики Matlab для побудови та моделювання керуючої системи з контролером, а саме використання сервісу Matlab – Toolbox Fuzzy Logic. У структурі системи, що використовує нечітку логіку для реалізації методу оптимізації потоком частинок будуть взаємодіяти вхідний чіткий вектор, вектор нечітких множин, що відповідає вхідному вектору, результат логічного виведення у вигляді вектора нечітких множин, вихідний чіткий вектор. Система має можливість інтегрування до Simulink – середовища моделювання систем.

Додаток Fuzzy Logic Toolbox дозволяє будувати нечіткі системи двох типів – mamdani, sugeno. Основна відмінність між системами mamdani та sugeno полягає в різних способах завдання значень вихідної змінної в правилах, що утворюють базу знань. Або значення вихідної змінної задаються нечіткими термінами, або лінійною комбінацією вхідних змінних. Для моделювання обираються дві вхідні змінні, значення яких отримуються при визначенні помилки та зміни похибки, результат моделювання виводиться у одну вихідну змінну з іменем Voltage, значення якої є значеннями напруги у електричному ланцюгу у певний момент часу за певних умов, та лінгвістичні змінні нечіткого процесу, що відображає оптимізацію методом потоку частинок. Нечіткому контролеру, що управляє електричним струмом у даній моделі, оптимізуючи

процеси методом потоку частинок, згідно цього методу надано атрибути: type – mamdani, AndMethod - min, OrMethod – max, ImpMethod – min, AggMethod – max, DefuzzMethod – centroid, Range – (0 120). Нечітка система виведення, яка згенерована, виходячи з методу оптимізації за допомогою потоку частинок, показана на наступних рисунках, при відповідних нечітких процесах кілька разів змінюються функції приналежності, тобто метод оптимізації за допомогою потоку частинок знаходить функції приналежності.

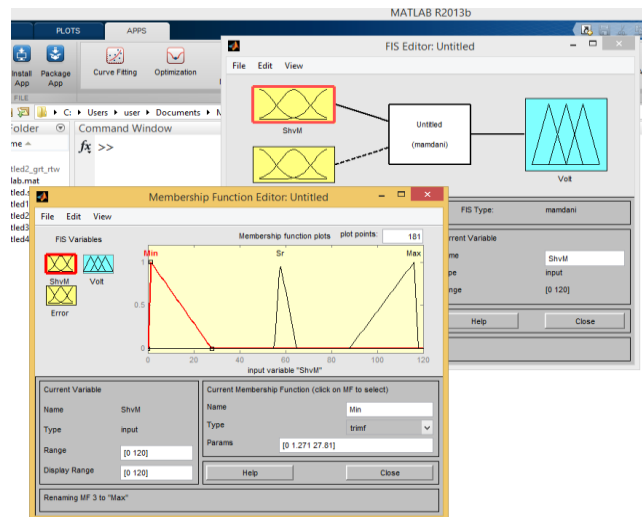


Рисунок 1. Функції приналежності відповідно до першої вхідної змінної.

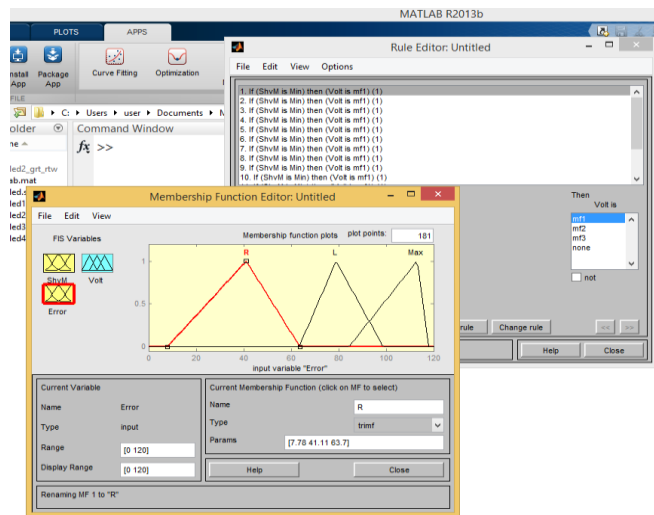


Рисунок 2. Функції приналежності відповідно до другої вхідної змінної.

Розглядаючи цю нечітку систему управління, після побудови та моделювання при певних значеннях атрибутів та за визначеними функціями приналежності і правилами функціонування нечітких процесів отримуємо

значення вихідної змінної напруги у електричному ланцюгу, графічна візуалізація вихідної змінної представлена на наступному рисунку.

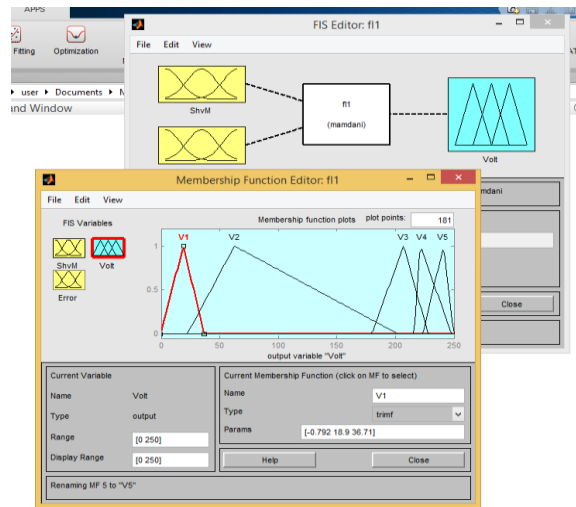


Рисунок 3. Представлення нечітких значень вихідної змінної – напруги.

Ми можемо бачити, що одна з функцій приналежності охоплює більше значень із множини значень вихідної змінної ніж чотири інші. Цей рисунок показує найкращі, тобто наближені до оптимальних, функції приналежності, отримані за допомогою методу оптимізації з використанням потоку частинок в проведених експериментах. Застосовані функції приналежності, що відповідають оптимізації за допомогою потоку частинок, та правила побудови нечіткої системи для цих функцій створюють інструменти, що дають можливість моделювати поверхню управління та властивості управління. Поверхню управління показано на рис. 4.

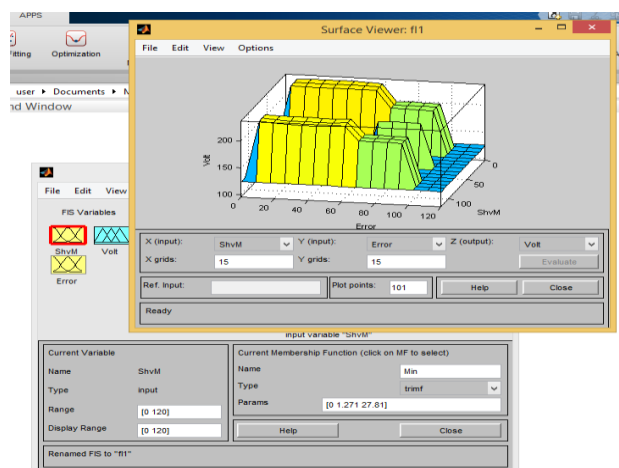


Рисунок 4. Поверхня управління нечіткої системи.

Загальний привід у системах управління є двигуном постійного струму. Він безпосередньо забезпечує обертальний рух і, в поєднанні з колесами або барабанами і кабелями, може забезпечити перехідний рух. Двигун постійного струму є механізм, який перетворює електричну енергію в механічну, утворюючи обертальний рух. Механізм постійного струму (генератор або двигун) складається в основному з двох частин, перша з яких - статор, який дає механічну підтримку блоку і має отвір в центрі, як правило, циліндричної форми. На додаток до статору, полюси розташовані так, що можуть бути постійними магнітами або обмотками з мідного дроту на залізний сердечник. Друга частина – ротор, що зазвичай має циліндричну форму та складається з намотки і ядра, також додані дві щітки. На наступному рисунку показана модель Simulink, реалізована в Matlab, де основний блок схеми моделювання є моделлю нечіткого логічного контролера, який отримано методом оптимізації з використанням потоку частинок.

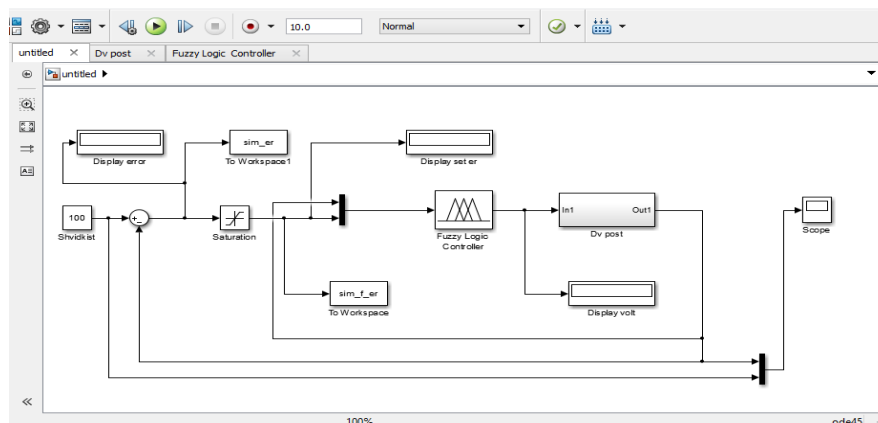


Рисунок 5. Моделювання системи з нечітким логічним контролером.

Далі надані математична постановка даної задачі та методи її вирішення. Введемо позначення та надамо значень наступним фізичним параметрам. Ротор і вал передбачаються жорсткими. Момент крутіння двигуна - M пов'язан зі струмом якоря – і відповідно константі $const_m$. Константа електрорухоючої сили $const_e$ пов'язана зі швидкістю обертання за допомогою наступних рівнянь:

$$\begin{aligned} M &= const_m \cdot i \\ E &= const_e \cdot \psi, \end{aligned} \quad (1)$$

де R - електричний опір, L –електрична індуктивність, $const$ –константа електрорушуючої сили, ζ – коефіцієнт демпфування механічної системи, J – момент інерції. Також ми будемо розглядати як вхідну змінну V – напругу джерела струму, а як вихідну змінну ψ – координати положення валу. Для цієї моделі згідно поставленої задачі ми також можемо написати наступні рівняння, що спираються на закон Ньютона і закон Кірхгофа:

$$\begin{aligned} J\ddot{\psi} + \zeta\dot{\psi} &= const \cdot i \\ L \frac{di}{dt} + Ri &= V - const \cdot \dot{\psi} \end{aligned} \quad (2)$$

За допомогою перетворення Лапласа, вищенаведені рівняння моделювання можуть бути виражені відносно незалежної змінної x :

$$\begin{aligned} x(Jx + \zeta)\psi(x) &= const \cdot i \\ (Lx + R)I(x) &= V - const \cdot x\psi(x) \end{aligned} \quad (3)$$

У поняттях станів системи моделювання вищенаведені рівняння можуть бути виражені наступним чином: швидкість обертання та електричний струм обираються в якості змінних стану, напруга задає вхідний сигнал, у результаті отримується швидкість обертання як вихідні дані.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} -\frac{\zeta}{J} & \frac{const}{J} \\ -\frac{const}{L} & -\frac{R}{L} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{pmatrix} V \\ \dot{\psi} &= (1 \quad 0) \begin{pmatrix} \dot{\psi} \\ i \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Запишемо алгоритм виконання оптимізації методом використання потоку частинок, який застосовується при вирішенні задачі:

1. Початок.
2. Завдання визначення частинок, які беруть участь у потоці для виконання оптимізації, а саме задається їх положення та швидкість.
3. Оцінка придатності кожної визначеної частинки до використання у цьому методі.
4. Завдання та оновлення параметрів контролера нечіткої системи.
5. Знаходження значень pb , gb .

6. Оновлення значень координат частинок та швидкості її руху.

7. Перевірка виконання умови: якщо максимальна кількість ітерацій процесу оптимізації ще не досягнута, то переходимо до пункту 2, інакше – наступний пункт.

8. Кінець виконання методу.

Важливо відзначити, що нечітка система використовувалася з 2 входами і 2 виходами для отримання під час виконання кращих значень когнітивного прискорення l_1 і соціального прискорення l_2 . Ця нечітка система може бути описана наступним чином: основна функція нечіткої системи призначена для налаштування параметрів методу оптимізації за допомогою потоку частинок та їх корегування, у якості параметрів розглядаються

l_1 - когнітивне прискорення, l_2 - соціальне прискорення.

Ми змінюємо ці параметри для перевірки запропонованого методу. У цьому випадку можна регулювати в режимі реального часу 2 параметри. Рівняння швидкості частинок при виконання запропонованого методу можна описати наступним чином:

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) + l_1 p_{1j}(t) (y_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + l_2 p_{2j}(t) (y_{ij}(t) - x_{ij}(t))$$

Вище, у рівностях (2), описується спосіб, яким чином основне рівняння методу оптимізації модифікується для досягнення мети, і потім, перетворивши його частину в нечіткі параметри, ми можемо побачити відмінності між двома рівняннями, що істотна частина пропонуваного методу лежить в цих двох змінних l_1 , l_2 . Традиційно ці дві змінні є постійними, в даному випадку важливість цих двох прискорень полягає в тому, що ми вирішили отримати ці дві величини відповідно до наступних визначень.

Де $\omega_{ij}(t)$ - швидкість частинки i у вимірі $j = 1, \dots, n$ у момент часу t , $x_{ij}(t)$ - положення частинки i у вимірі j на кроці t , l_1 , l_2 представляють пізнавальне і соціальне прискорення. У цьому випадку ці значення є нечіткими, оскільки вони змінюються динамічно при виконанні методу оптимізації і визначаються виразами (3), p_{l_1} і p_{l_2} є випадковими значеннями в діапазоні [111, 112].

$$l_1 = \frac{\sum_{i=1}^{p_{l_1}} \mu_i^{l_1}(l_{1i})}{\sum_{i=1}^{p_{l_1}} \mu_i^{l_1}}$$

де l_1 - відсоток когнітивного прискорення частинки, p_{l_1} - кількість правил нечіткої системи, що відповідають l_1 , l_1 - вихідний результат для правила, відповідний l_1 , $\mu_i^{l_1}$ – функція приналежності правила і відповідно до l_1 .

$$l_2 = \frac{\sum_{i=1}^{p_{l_2}} \mu_i^{l_2}(l_{2i})}{\sum_{i=1}^{p_{l_2}} \mu_i^{l_2}},$$

де l_2 - відсоток соціального прискорення частинки, p_{l_2} - кількість правил нечіткої системи, що відповідають l_2 , l_2 - вихідний результат для правила, відповідний l_2 , $\mu_i^{l_2}$ – функція приналежності правила і відповідно до l_2 .

Таким чином, налаштування управління системою керується за допомогою регулятора, параметри якого відповідають нечітким логічним процесам, при цьому знаходження оптимальних значень параметрів відбувається за алгоритмом оптимізації за допомогою потоку частинок. При вирішенні поставленої задачі система розглядається як нечітка, що описується двома параметрами, які змінюються динамічно при виконанні методу оптимізації за допомогою потоку частинок та досягають значень, при яких система має оптимальне значення вихідної змінної.