

Вибір алгоритмів для створення інтелектуальної системи керування дизелем

Бендарик О.Б.,
НТЦ "СИНТЕЗ-ІНЖИНІРІНГ", м. Миколаїв

Після розвалу СРСР і отримання Україною незалежності, на теренах нашої країни залишилось багато енергетичних установок радянського виробництва, у тому числі багато дизель-генераторів, які з успіхом використовуються у промисловості. Крім того в Україні існує міцна база по ремонту та виробництву машин з дизель-генераторними енергетичними установками, наприклад тепловозів, а саме заводи у Дніпропетровську, Полтаві, Луганську, Ізюмі, Харкові. Звісно, що техніка часів радянського Союзу для народного господарства була не дуже удосконаленою. Основні недоліки це:

- великі витрати палива та мастила;
- малий ресурс праці механізмів;
- складність діагностики і обслуговування.

Зараз питання великих витрат палива та мастила у зв'язку з стабільним ростом цін на них вийшли на перше місце. Один із шляхів його вирішення є оптимізація праці дизеля та повний облік виробленої потужності. Наприклад - система Delta, програмно-апаратний комплекс (ПАК), розробки Дніпропетровського транспортного інституту. ПАК веде моніторинг усієї виробленої енергії по кожній позиції керуючого контролера машиніста і створює звіт за відпрацьований час. Після встановлення системи проводиться тестування по витратах пального на кожній позиції. Отримавши звіт про вироблену потужність можливо розрахувати середні витрати палива та мастила на кВт/час по кожній позиції. У разі підвищення витрат палива чи мастила взагалі або по одній з позицій є два висновки: поломка, що потребує ремонту, або крадіжка. Практика експлуатації ПАК Delta показала зменшення використання палива на 50%. Економічний ефект від використання системи Delta дозволяє швидко її окупити. Але ПАК Delta не створює оптимізації праці ди-

зеля, де слідством є не тільки економія палива, а й підвищення моторесурсу двигуна.

Для вирішення питання оптимізації праці дизеля потрібно створювати ПАК на базі інтелектуального алгоритму. Інтелектуальні алгоритми виникли в результаті вдалого розвитку кібернетики, де основними тенденціями розвитку у третьому тисячолітті є **біологізація** та **гібридизація**.

Під біологізацією частіше всього розуміється побудова та дослідження моделей поведінки складних об'єктів і способів керування ними на основі імітування механізмів, реалізованих природою в живих істотах. Такий підхід має право на життя завдяки тому факту, що багато так названих "класичних" методів обробки інформації сприймаються як простіші реалізації універсальних засобів функціонування біологічних об'єктів. За приклад можна взяти послідовні алгоритми фон Неймана (вироджений випадок паралельної обробки інформації), а також подвійну логіку (приватний випадок нечіткої логіки). С іншої сторони, стрімке збільшення обчислювальних потужностей і розвиток математичного апарату дозволили підступитися до рішення таких задач, розмірність яких ще 5..10 років тому була непереборним бар'єром для дослідників. Зараз такі задачі з успіхом вирішуються за допомогою нейронних мереж.

Гібридизація, в свою чергу, складається зі спільного використання різних методів і/або моделей для обробки інформації про об'єкти. Парадигма такого підходу будується на згоді з тим, що будь-яка складна штучна модель реального об'єкту завжди буде простіше за оригінал, і тільки багатоаспектне його дослідження з послідуною інтеграцією отриманих результатів дозволяє придбати необхідні знання або

приблизитись до оптимального рішення. Гібридний підхід давно та ефективно використовується у наукових дослідженнях.

Нейронні мережі - це розподіл штучного інтелекту, в якому для обробки сигналів використовуються явища аналогічні до явищ, що відбуваються у нейронах живих істот. Найбільш важлива особливість мережі, що свідчить о її широких можливостях і великому потенціалі, є паралельна обробка інформації усіма ланками. При великій кількості міжнейронних зв'язків це дозволяє значно прискорити процес обробки інформації. В багатьох випадках стає можливим перетворення сигналів у реальному часі (ця властивість і використовується при створенні системи керування). Крім того, при великому числі міжнейронних з'єднань, мережа одержує стійкість до похибок, які виникають на деяких лініях. Функції пошкоджених зв'язків беруть на себе м'які лінії і діяльність мережі не ушкоджується. Друга не менш важлива властивість - здатність до навчання і узагальнення знань. Нейронна мережа має риси штучного інтелекту. Мережа, що пройшла навчання на обмеженій множині даних, здатна узагальнювати отриману інформацію і показувати гарні результати на даних, які не використовувались у процесі навчання. Опіраючись на теорему про повноту нейронних мереж ми одержуємо універсальні структури, які дозволяють реалізувати будь-який обчислювальний алгоритм.

Будь-яка безперервна функція на замкнутому обмеженому просторі може бути рівномірно наближена функціями, розрахованими мережами нейронів, якщо функція активації нейрону двічі безперервно диференційована та безперервна.

Характерною особливістю мережі є можливість її реалізації з використанням сучасної технології з вели-

ким ступенем інтеграції. Різниця серед елементів мережі мала, повторення елементів дуже велике. Це відкриває перспективу створення універсального процесора з однорідною структурою, що повинен мати можливість переробляти багатообразну інформацію.

Концепція нечіткої логіки з успіхом використовувалась для керування невизначеними технологічними процесами, а також процесами, які з успіхом керуються оператором. Більшість примірників успішного використання нечіткої логіки відносяться до систем керування, в яких є неточність, але нема невизначеності. Хоча спочатку сподівалися, що нечітка логіка буде використовуватися для керування системами, в яких значна частина збереженої інформації є одночасно неточною та невизначеною.

Використання нечіткої логіки, яка базується на лінгвістичній базі даних, для керування процесами в промисловості має ряд переваг відносно традиційних систем, тому що відноситься до систем штучного інтелекту. Одна з цілей штучного інтелекту полягає в тому, щоб замінити людину машиною при виконанні точних операцій. Таким чином, зв'язок між штучним інтелектом та теорією керування є очевидним. Система складається з набору лінгвістичних операторів чи правил, які задають конкретні ситуації керування та можуть бути легко вилучені з технічних даних про процес керування. Для багатьох промислових процесів складно забезпечити точне керування. Вони частіш виявляються багатомірними, нелінійними та змінюються у часі. Керування на основі нечіткої логіки може з успіхом використовуватися для таких процесів. Крім того, системи на нечіткій логіці можуть працювати з неповністю описаними системами невідомої динаміки, так як для них не потрібна апріорна математична модель об'єкта керування.

Нечітку множину можна визначити як крапку в кубі, а нечітку систему - як відображення між такими кубами.

S - нечітка система, яка відображає нечітку множину в нечітку множину. Таким чином, нечітка система преображає нечітку множину з одного гіперкуба I^n у другий гіперкуб I^p :

$$S: I^n \rightarrow I^p, \text{ де}$$

I^n - n -мірний одиночний гіперкуб, де є всі нечіткі множини області визначення;

I^p - тримає усі нечіткі підмножини області значень.

Іншими словами, нечітка система **S** відображає сімейства нечітких множин одне на друге:

$$S: I^n \times \dots \times I^n \rightarrow I^p \times \dots \times I^p.$$

Такі нечіткі системи діють як елементи асоціативної пам'яті. Коли вони відображають замкнуті входи на замкнуті входи, до них використовують термін "нечітка асоціативна пам'ять" (НАП).

Простіша НАП кодує НАМ-правило, чи асоціацію (A_i, B_i) , зв'язуючи p -мірну нечітку множину B_i з n -мірною нечіткою множиною A_i . Такі мінімальні НАП відображають один елемент з гіперкуба I^n в один елемент гіперкуба I^p .

В теорії нечітких множин визначені три основні операції: доповнення, об'єднання та перетинання нечітких множин.

Доповнення нечіткої множини **A** визначається як

$$m_A(x) = 1 - mA(x), x \in X, \text{ де}$$

X - множина крапок матеріальної осі R_j , а $mA(x)$ - функція належності нечіткої множини **A**, яка приймає значення в діапазоні від 0 до 1.

Об'єднання двох нечітких множин **A** та **B** з відповідними функціями приналежності $mA(x)$ та $mB(x)$ - це нечітка множина **C**, яка визначається як **AUB**. Її функції приналежності визначаються по функціям приналежності множин **A** та **B** відповідно:

$$mC(x) = \text{Max} [mA(x), mB(x)], x \in X, \text{ або } mC(x) = mA(x) \vee mB(x)$$

Перетинання двох нечітких множин **A** і **B** з функціям приналежності $mA(x)$ та $mB(x)$ - це нечітка множина **C**, яка визначається як **A ∩ B**. Її функція приналежності визначається:

$$mC(x) = \text{Min} [mA(x), mB(x)], x \in X, \text{ або } mC(x) = mA(x) \wedge mB(x)$$

Таким чином, об'єднання нечітких множин **A** і **B** - це найбільш мала нечітка множина, яка містить у собі **A** і **B**. Перетинання нечітких множин **A** і **B** - це нечітка множина, яка містить у собі **A** і **B**.

Взагалі, НАП - система $F: I^n \rightarrow I^p$ здійснює кодування та паралельну обробку набору з НАМ-правил $(A_1, B_1), \dots, (A_m, B_m)$. Мінімальне НАМ - правило, i -я асоціація, або правило (A_i, B_i) , відображає вхід **A** у вихід B_i , нагадує собою частково активізований варіант B_i . Чим більше вхід **A** нагадує A_i , тим

більш B_i нагадує B_i . Відповідно, вихідна нечітка множина **B** об'єднує ці частково активовані нечіткі множини B_1, \dots, B_m , воно представляє з себе збільшене середнє частково активованих множин:

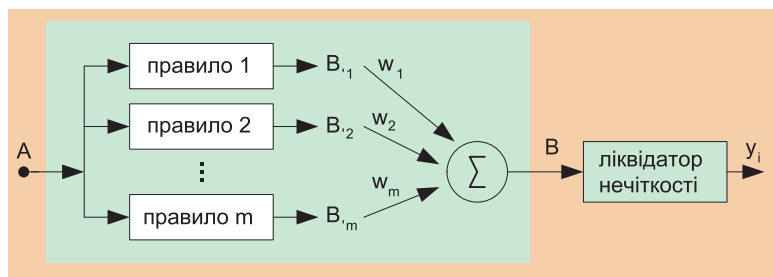
$$B = \sum w_i B_i, i=1..m.$$

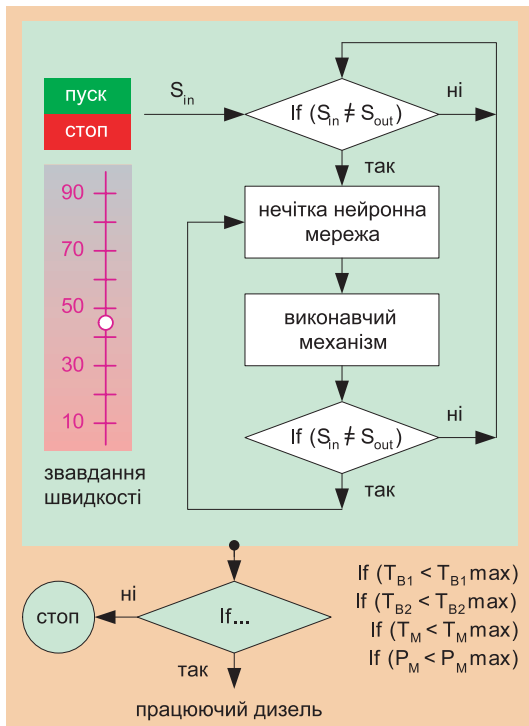
Коефіцієнт w_i відображає частоту або силу нечіткої асоціації (A_i, B_i) . На практиці нечітка множина **B** може бути перетворена у конкретну числову величину Y_j на дійсній осі **Y**. Для цього розраховується нечіткий центроїд множини (**B**) відносно вихідної універсальної множини (**Y**).

Цікавим є об'єднання нечіткої логіки та різних видів нейронних мереж між собою, а також використання алгоритмів самоорганізації. В теорії це об'єднання має назву нечіткі нейронні мережі. Для приклада ми побудуємо алгоритм програмно-апаратного комплексу, який буде здійснювати керування дизелем тепловозу. Що в свою чергу дасть можливість оптимально керувати дизелем і отримати усі переваги: економію палива, збільшений ресурсу двигуна та легкість діагностики і обслуговування.

Так як потужність дизель-генератора залежить від обертаючого моменту колінчатого валу двигуна та його обертів, то керування складається з підтримки постійними обертаючого моменту і обертів двигуна. На кожен позицію контролера машиніста повинна бути відповідна кількість рійок паливних насосів та відповідні оберти колінчатого вала.

Вимоги к дизель-генераторним установкам в процесі експлуатації у частині швидкодії і забордів кутової швидкості при нестабільних режимах в останній час зросли так, що їм перестали задовольняти автоматичні регулятори самих довершених конструкцій. Практично неможливо створити автоматичний регулятор з ще кращими якість і працюючими на основі тільки одного принципу регулювання - принципа Ползунова-Уатта. Одним з шляхів рішення цієї задачі виявилось застосування комбінаторного рішення - принцип





- температура мастила T_M ;
- температура навколишнього середовища T ;
- тиск мастила P_M ;
- швидкість руху тепловоза S_{out} ;
- задана швидкість руху тепловоза S_{in} .

Змінні поділяються на дві категорії:

контрольні змінні - контролюють стан дизеля і у разі перевищення хоч одної з них допустимого рівня, праця дизеля негайно повинна бути зупинена (T_{B1} , T_{B2} , T_M , P_M);

управляючі змінні - контролюють стан агрегатів тепловоза та його особистий стан, аналізуючи їх взаємодію можливо застосувати оптимізацію праці дизеля при виконанні команд машиніста (α , η , A , V , S_{out} , S_{in} , T).

Ползунова-Уатта та принцип Понселе регулювання по навантаженню. Реальні можливості здійснити таку взаємодію двох різних принципів регулювання в автоматичних регуляторах двигунів з'явилися тільки тоді, коли навантаження стало можливо вимірювати електричними методами. Дизель-генератори є об'єктами такого регулювання.

В існуючій системі керування роботою тепловоза регулятор створює постійний контроль за працею дизеля. Машиніст задає параметри роботи дизеля через контролер, який має вісім фіксованих позицій для забезпечення необхідної швидкості руху. При цьому міжпозиційний діапазон є мертвою зоною, яка не сприяє оптимальній праці дизеля, плюс до цього низка швидкість регулювання існуючого регулятора та складність в його обслуговуванні - все це веде до зайвих витрат палива та підвищеного зносу механізму.

У зв'язку з цим пропонується електронний регулятор. В його алгоритмі будемо використовувати такі змінні:

- кут паливної рійки α ;
- величина зміни кута паливної рійки $\Delta \alpha$;
- частота обертання колінчатого валу η ;
- струм генератора A ;
- напруга генератора V ;
- температура води на вході у дизель T_{B1} ;
- температура води на виході з дизеля T_{B2} ;

Праця загального алгоритму складається з наступних етапів:

1. Перевірка, постійна і незалежна, контрольних змінних (T_{B1} , T_{B2} , T_M , P_M) - на те, що вони не перевищують допустимого рівня, а якщо хоч одна з них перевищує, тоді СТОП дизель.

2. Перевірка швидкості руху тепловоза S_{out} с заданою швидкістю S_{in} - якщо співпадає, то потребує знов на перевірку, а якщо ні, то включається нечітка мережа нейронів.

3. Прийняття рішення нечіткою мережею нейронів про зміну моменту обертання на колінчатому валу дизеля. А так як він напряму залежить від кута нахилу паливної рійки, то рішення приймається по величині кута нахилу паливної рійки. Таким чином приймається рішення про величину зміни кута $\Delta \alpha$ відповідно до α , η , A , V , S_{out} , S_{in} , T .

4. Виконавчий механізм - змінює кут паливної рійки α на величину $\pm \Delta \alpha$.

5. Перевірка швидкості руху тепловоза S_{out} с заданою швидкістю S_{in} .

Таким чином побудовано алгоритм регулювання дизель-генератора з урахуванням оптимізації його праці при перехідних процесах на всьому діапазоні.

Завдяки отриманому алгоритму, як додаток, стає можливим створити експертну систему по експрес діагностиці енергетичної установки, яка при виникненні збою в роботі чи при появі процесу розбалансування, негайно попередить оператора про причини та вкаже найбільш вірогідні вузли для ремонту.

На відміну від традиційних електронних регуляторів, які діють за традиційними алгоритмами, оснащені шаговими електродвигунами чи електроприводами знакозмінного напрямку руху та електронним датчиком частоти обертання дизеля, цей тип регулятора має ряд переваг, у тому числі:

- оптимізація праці дизеля і перехідних процесів при зміні потужності;
- економія палива;
- збільшення моторесурсу дизеля;
- обслуговування та ремонт дизеля і тепловоза по технічному стану завдяки експрес діагностиці;
- нульові запізнення при обробці вимірювання поточного значення частоти обертання дизеля;
- стабільну працю дизеля з нульовим запізнюванням самостійного вирівнювання при нульовому нахилі регуляторних характеристик у всьому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів дизеля;
- підвищену точність цифрового вимірювання кута паливної рійки;
- можливість навантаження дизеля на будь яких швидкісних режимах, в т.ч. на мінімально-стійкий частоті обертання;
- простоту конструкції;
- малі габарити;
- можливість використання на дизелях будь-якого типу, призначення та потужності, в т.ч. на судових дизелях, тепловозах, автомобілях, тракторах і в газових турбінах.

Висновок. Використання інтелектуальних алгоритмів відкриває нові можливості в підвищенні ефективності виробництва без глобального переобладнання технічних засобів. Інтелектуальні алгоритми з успіхом працюють з будь-якою задачею після відповідного навчання. Характер задач змінюється у широкому діапазоні: від технічних, як керування енергетичними установками, в тому числі і турбінами, до аналізу економічного стану підприємства по даним бухгалтерського обліку з урахуванням кількості товарно-матеріальних цінностей на складі та економічної ситуації на ринку продукції і сировини.

КОНТАКТИ:
 т. (0512) 24-10-31
 e-mail: masterbob@sintez.mk.ua