

ВИРОБНИЦТВО І ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

УДК 681.5.015

ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД ДИНАМІЧНОГО НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ НЕЙРОНЕЧІТКИХ ЕМУЛЯТОРІВ ЗІ СТРУКТУРОЮ ВАНГА–МЕНДЕЛЯ

В. Щокін, В. Сидоренко, О. Щокіна

*Криворізький технічний університет
вул. XXII партз'їзду, 11, Кривий Ріг 50025, Україна
shchokin@alba.dp.ua*

Наведено результати розробки модифікації генетичного алгоритму для параметричного синтезу асимптотично-стійких інтелектуальних систем керування технологічними процесами. Запропонована модифікація базового генетичного алгоритму підвищує швидкодію алгоритму на 2,5–5,5% та не знижує показників його ефективності.

Ключові слова: метод налаштування, нейронечіткі моделі, електромеханічні об'єкти.

Об'єктом дослідження є технологічний процес (ТП) спікання агломерату. Агломераційний процес з погляду автоматизації є взаємопов'язаною технологічною системою, яка перебуває під дією випадкових збурень. Відповідно, у разі синтезу асимптотично-стійкої оптимальної системи керування треба розв'язати задачі стійкості системи і максимізації цільової функції [2].

Аналіз [2] принципів синтезу і функціонування автоматизованих систем керування (АСК) ТП агломерації показав, що синтез адаптивних структур пов'язаний з проблемою порушення умов узгодженості керування і флуктуації невизначених на етапі синтезу параметрів об'єкта. Відповідно, відсутній механізм підтримки заданих показників якості керування в разі зміни схемно-режимних умов функціонування системи. Складність математичної моделі ТП приводить до неможливості прямого контролю низки параметрів вектора стану об'єкта.

Результати праці [2] засвідчують, що розробка та впровадження гібридних інтелектуальних систем управління, які використовують динамічну базу знань для перетворення концептуальних понять, дає змогу зафіксувати задані показники якості шляхом інтелектуального налаштування параметрів системи в разі дії на об'єкт зовнішніх збурень.

Математичне формулювання задачі. За допомогою нейронечітких штучних мереж (ННШМ) необхідно побудувати відображення вхідного вектора з заданого класу. Відображення задане набором пар вхід-відомий вихід. Кількість даних

навчальної вибірки значно менше від загальної кількості можливих сполучень вхідних і вихідних векторів.

У задачі оптимального керування технологічним процесом агломерації вхідними образами є контрольовані параметри об'єкта (продуктивність агломашини, вміст заліза в залізородній частині шихти, вміст руди у залізородній частині шихти, вміст вапна у флюсах, вміст вуглецю в шихті, вміст повернення в шихті, вологість шихти, енергетичні параметри об'єкта, у складі якого є електромеханічне устаткування, живильна мережа тощо), вихідний код відповідає поточним значенням контрольованих параметрів і визначає керівні впливи (вологість шихти, кількість повернення, витрата газу, розрідження в загальному газопроводі, швидкість аглострічки тощо). Тобто ННШМ реалізує деяке складне багатовимірне функціональне перетворення вхідного вектора у вихідний.

Розглянемо параметричний синтез нечіткої нейронної системи керування технологічними процесами за повним вектором координат стану системи.

Недоліки нечітких систем такі: вихідний набір нечітких правил формулює експерт, тому він може виявитися неповним, суперечливим, містити похибки; вигляд і параметри функцій належності, що описують вхідні і вихідні змінні стану системи, вибирають суб'єктивно.

Узагальнена нечітка ідентифікація ТП. Розглянемо нечітку модель узагальненого багаторівневого технологічного процесу, побудовану за принципом групування вхідних впливів для створення ієрархічного дерева висновку [2].

Загальний вигляд елементарної системи А:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (1)$$

де $x_i, i = \overline{1, n}$ – компоненти n -вимірному вектора контрольованих параметрів ТП $\underline{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$; y – характеристичний параметр динамічного стану ТП.

Такий вигляд системи А з багаторівневим зображенням експертних знань застосовують для термінальних вершин та кореня дерева. Така структура дає змогу враховувати випадкові зміни ТП з накопиченням знань про об'єкт у режимі on-line.

Уважаємо відомим: варіації параметрів стану системи $\Delta x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ та $\Delta y \in [\underline{y}_i, \overline{y}_i]$; базові нечіткі продукційні правила $R^j, j = \overline{1, m}$, які пов'язують лінгвістичні оцінки чинників впливу $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ та цільовий вихід y ; багаторівневі нечіткі продукційні правила *IF-AND-OR-THEN*; масив навчальних кортежів $teach^t : < \underline{x}, d >, t = \overline{1, s}$.

Для ефективного функціонування системи нечіткої ідентифікації технологічних процесів треба динамічно налаштовувати параметри функцій належності.

Розглянемо метод параметричного налаштування функцій належності змінних $\underline{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ за модифікованим генетичним алгоритмом.

Базовий метод (прототип) налаштування параметрів функцій належності [3] має такі недоліки: підвищені вимоги до апаратного забезпечення для генетичного налаштування; значна кількість ітерацій, що призводить до збільшення часу генетичного налаштування функцій належності. Це звужує межі використання такого налаштування.

Викладемо ідею та алгоритм методу генетичного налаштування параметрів функцій належності в режимі on-line.

На етапі кодування нечіткої моделі утворюємо вектор S параметрів функцій належності (екстремум терму b , коефіцієнт концентрації c , вага правила w):

$$S = (W, B, C) = (w_1, \dots, w_N, b_{1l_1}, c_{1l_1}, \dots, b_{nl_n}, c_{nl_n}), \quad (2)$$

де N – кількість рядків у нечіткій базі знань; l_i – кількість терм-оцінок вхідної змінної x_i .

Аналіз методів кодування [2] показав, що кодування генетичної популяції традиційними методами (стандартний двійковий код, код Грея та ін.) значно гальмує алгоритм. Запропоновано просте кодування значень зі штучним динамічним зменшенням бітності коду. Це не знижує показників ефективності алгоритму зі збільшенням швидкодії алгоритму на 2,5–5,5% від загального часу.

Для зменшення часу роботи генетичного алгоритму і підвищення його ефективності в разі параметричного синтезу асимптотично-стійких інтелектуальних систем керування запропоновано [4] метод експертного визначення коефіцієнта концентрації функцій належності, а отже і меж дискретизації.

Значення імовірнісних характеристик (апріорна ймовірність $P(V_k)$ та умовна ймовірність $P(A_i/V_k)$ перебування об'єкта Z в одному з можливих класів V_k у разі колективної експертної оцінки інформаційними системами (ІС) з алгоритмами A_i) оцінюємо з урахуванням відповідних частот [5]:

$$P^*(V_k) = \frac{G_k}{G}; \quad (3)$$

$$P^*(A_i/V_k) = \frac{E_{ki}}{G_k}, \quad (4)$$

де G_k – кількість появ k -го класу ($k=1, \dots, M$) у вибірці з G спостережень; E_{ki} – кількість помилкових рішень i -ї інформаційної системи ($i=1, \dots, N$) в разі аналізу ситуацій, коли об'єкт Z належить k -му класу.

Помилкові рішення можна визначити на етапі, коли буде отримана достовірна інформація про стан об'єкта. На цьому етапі треба сформувавши класи, в яких перебувала система на попередньому кроці: $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$.

Значення апріорної $P(V_k)$ та умовної $P(A_i/V_k)$ ймовірностей перебування об'єкта Z в одному з можливих класів V_k дає змогу розрахувати колективне рішення про стан, у якому перебуває предметна область $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$. Правило ухвалення колективного рішення таке [5]:

$$D(S) = \arg \max_{1 \leq m \leq M} P(V_m) \prod_{j \in \text{Im}} [1 - P(A_j/V_m)] \prod_{j \notin \text{Im}} P(A_j/V_m). \quad (5)$$

Коефіцієнт концентрації c функції належності розраховуємо за такою методикою. Нехай часткові рішення інформаційних систем (ІС) про стан об'єкта – $\delta_i, i=1, 2, \dots, N$, де N – загальна кількість ІС, які використовують під час

ідентифікації стану предметної області. Множину ІС, які визначили, що стан об'єкта належить до m -го класу, позначимо $I_m, m=1,2,\dots,M$.

Оскільки $I_i \cap I_j = 0 \quad \forall i, j=1,\dots,M$ та $I_1 \cup \dots \cup I_M = \{1,\dots,N\}$, то треба обчислити таке: множину інформаційних систем I_* , рішення яких збіглися з колективним рішенням (5); відсоток I_{per}^* таких систем; множину інформаційних систем I_M^- , рішення яких не збіглися з колективним рішенням (5); їх відсоток $I_{M_per}^-$.

$I_{M_per}^-$ характеризує динамічний стан об'єкта, що належить терму з координатою максимуму b , розрахованою згідно з колективним рішенням (5).

Викладемо базовий алгоритм визначення коефіцієнта концентрації c функції належності з урахуванням розподілу рішень усіх інформаційних систем про класифікацію динамічного стану об'єкта.

У загальному випадку кількість можливих комбінацій часткових рішень дорівнює M^N , у M випадках рішення будуть узгодженими, тоді коефіцієнт концентрації мінімальний $0,01 \cdot x_{\max}$, який забезпечує на нульовому α -рівні функції належності діапазон варіації змінної x у межах допустимої похибки.

За відсоткових переваг коефіцієнт концентрації c функції належності можна розрахувати так:

$$\left. \begin{aligned} c &= \bar{X} - 0,99 \cdot \bar{X}, \text{ якщо } I_M^- = 0 \\ c &= \bar{X} - \frac{I_{per}^*}{100} \bar{X}, \text{ якщо } I_{per}^* > 0, I_{M_per}^- > 0 \\ c &= \bar{X}, \text{ якщо } I_{i_per}^- = I_{j_per}^-, \forall i, j=1,\dots,M \\ c &= 10 \cdot \bar{X}, \text{ якщо } I_{per}^* = I_{i_per}^- = I_{j_per}^-, \forall i, j=1,\dots,M \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де I_{per}^* – відсоткове значення інформаційних систем, рішення яких збіглися з колективним (5).

За розробленою методикою можна зіставити параметри функцій належності, які отримані модифікованим алгоритмом адаптації [2] нечіткої мережі Ванга–Менделя, і дублювальні параметри, отримані на базі статистичного опрацювання рішень інформаційних систем ідентифікації стану динамічного об'єкта.

Алгоритм адаптивного налаштування вектора параметрів нейронечіткого емулятора зворотної динаміки об'єкта з оптимізацією параметрів функцій належності такий.

1. Початкові значення вектора параметрів нечіткого контролера \underline{w} копіюють у резервний масив. На початку роботи параметри \underline{w} явно визначені, оскільки система автоматичного управління переходить у робочий стан після попереднього налаштування нейронечіткого емулятора, оператор якого копіює контролер.

2. Розраховують похибку $e(t+1) = r(t+1) - y(t+1)$ та коефіцієнт корекції δ_k згідно з [2]:

3. Визначають ваги синаптичних зв'язків згідно з [2].

4. Коригують структуру і параметри продукційних правил, зіставляючи адаптивносформовані значення і результат, отриманий за правилом (5).

Алгоритм функціонування систем з урахуванням розробленого методу самоорганізації нейронечітких структур інтелектуальних систем автоматичного керування такий.

1. Спочатку з першої пари даних $\langle x_1, y_1 \rangle$ створюють перший кластер із центром $c_1 = x_1$. Приймають, що $w_1 = y_1$ і потужність множини $L_1 = 1$.

Позначимо r граничну евклідову відстань між вектором x і центром c_l .

2. Після зчитування k -ї навчальної пари $\langle x_k, y_k \rangle$ розраховують відстані між вектором x_k і всіма центрами $\|x_k - c_l\|$, $l = 1, 2, \dots, M$. Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| > r$, то створюють новий кластер $c_{M+1}(k) = x_k$, $w_{M+1}(k) = y_k$, $L_{M+1}(k) = 1$.

Параметри створених до цього кластерів не змінюються: $w_l(k) = w_l(k-1)$, $L_l(k) = L_l(k-1)$, $l = 1, 2, \dots, M$.

Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| \leq r$, то дані включають в l_k -й кластер, параметри якого уточнюють відповідно до класичного адаптивного алгоритму налаштування параметрів нейронечіткої мережі Ванга–Менделя [2].

3. Розраховують вихід системи за функцією апроксимації вхідних даних системи [2].

4. У період часу Td_{Σ} [4] відбувається накопичення інтегральної похибки функціонування системи і динамічне налаштування параметрів нейромережі Ванга–Менделя за розробленим методом [2].

5. Перехід на крок 1 за умови збільшення інтегральної похибки керування.

Ефективність запропонованого методу аналітичного конструювання інтелектуальних систем керування з нечіткими і нейронними структурами перевірено на імітаційних моделях у системі Matlab. Об'єкт реалізовано послідовним з'єднанням лінійної динамічної ланки та нелінійної ланки $y_i = \tanh(y_i)$. Для початкового on-line налаштування нечіткого емулятора використано реакцію об'єкта на трикутний вхідний вплив з амплітудою, розподіленою за рівномірним законом на відрізок $[0, 1]$. Час налаштування – 35 с, кількість базисних функцій до зміни оператора об'єкта – 9, після 100% зміни – 12.

Аналіз перехідних характеристик свідчить про незмінність часу навчання емулятора зворотної динаміки порівняно з базовою структурою і зменшення інтегральної похибки на 59%. Окрім того, за стовідсоткової зміни оператора об'єкта впродовж 50 с відбувається процес адаптації з наступною тенденцією зменшення похибки функціонування системи.

Отже, розроблено метод параметричного синтезу нейронечітких емуляторів динамічних об'єктів. Метод можна застосувати для ефективного on-line налаштування моделей або ідентифікаторів складних електротехнічних об'єктів.

1. Лозинський А.О. Електромеханічні системи автоматизації технологічних об'єктів з інтелектуальним керуванням: Автореф. дис...ертації д-ра техн. наук. Львів, 2004. 41 с.
2. Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними

- процесами на основі нейромережових структур та методів нечіткої логіки: Звіт з першого етапу НДДКР. Криворізький технічний університет. 5.04.3. № ДЗ/30-2004, №0104U004720. К., 2004. 100 с.
3. *Ротштейн О.П., Ларюшкін С.П., Кательніков Д.І.* Багатофакторний аналіз технологічного процесу біоконверсії на основі лінгвістичної інформації // Вісн. Волин. пед. ін-ту. 1997. №3. С. 38–45.
 4. *Сидоренко В.Д., Щокін В.П., Щокіна О.В.* Спосіб формалізації функцій приналежності нечітких емуляторів і контролерів нелінійних динамічних об'єктів / Заявка на корисну модель № 20 041 008 300 від 13.10.04.
 5. *Файнзильберг Л.С.* Обучаемая система поддержки коллективного решения группы независимых экспертов // Управляющие системы и машины. 2003. №4. С. 62–67.

**EFFECTIVE METHOD OF DYNAMIC ADJUSTMENT OF MEMBERSHIP
FUNCTION'S PARAMETERS OF FUZZY-NEURAL EMULATORS
VANG-MENDEL STRUCTURE**

V. Shchokin, V. Sidorenko, O. Shchokina

*Kryvyi Rih technical university, XXII Partizda Str., 11, Kryvyi Rih 50027, Ukraine
shchokin@rambler.ru*

Results of development of genetic algorithm updating for carrying out of parametrical synthesis of asymptotic stability, intellectual control systems by technological processes are shown. The suggested modification of base genetic algorithm does not reduce parameters of algorithm efficiency at increase of algorithm speed on 2,5–5,5 % from common time.

Key words: method, adjustment, fuzzy-neural emulators, electrical object.

Стаття надійшла до редколегії 20.06.2005
Прийнята до друку 01.09.2005