

В.П.Шокін, канд. техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Криворізький технічний університет)

МЕТОД АДАПТАЦІЇ НЕЙРОНЕЧІТКОГО КОНТРОЛЕРУ В СТРУКТУРІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДИНАМІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

В статті наведені результати другого етапу науково-технічної роботи, яка фінансується з Державного бюджету за напрямом "Розробка найважливіших новітніх технологій науковими установами" в рамках держбюджетної наукової теми №ДЗ/30-2004 від 14.04.04р.

Проведений аналіз принципів синтезу і результатів функціонування традиційних і інтелектуальних АСУ ТП [1] дозволив зробити висновки про перспективні напрямки та актуальні науково-технічні задачі в області синтезу сучасних інформаційних АСУ ТП: розробка інтелектуальних систем управління, структура представлення знань в яких, базується на основі ситуаційно-фреймових мереж; розробка гібридних інтелектуальних систем управління котрі використовують динамічну базу знань для перетворення концептуальних понять; розробка адаптивних структур систем автоматичного управління складними технологічними процесами на основі нечіткої логіки, нейромережевих структур і генетичних алгоритмів; розробка методів аналітичного дослідження інтелектуальних систем управління; розробка ефективних алгоритмів чисельного моделювання і дослідження систем управління які базуються на нечітких технологіях; розробка методології синтезу інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління складними ТП.

В результаті проведеного аналізу [1] існуючих адаптивних систем автоматичного керування, котрі використовують в якості блоків ідентифікації класичні нейронні мережі або нечіткі нейронні мережі з алгоритмами навчання на базі методу зворотного розподілу похибки, доведено, що дані системи не можуть навчатися в форматі реального часу, що робить вимоги квазістаціонарності об'єкту значно менш жорсткими.

Враховуючи вищевикладене, нами запропоновано структуру інтелектуальної системи управління з нечітким адаптивним емулятором, котра функціонує в відповідності з законом адаптації який отриманий на базі методу аналітичного конструювання інтелектуальних систем управління з нечіткими і нейронними структурами [1].

Метод аналітичного конструювання інтелектуальних систем управління з нечіткими і нейронними структурами базується на вирішенні задач аналітичного синтезу закону управління, котрий забезпечує оптимізацію обраного функціоналу якості управління технологічними процесом за умови аналітичного синтезу закону адаптації.

Задача синтезу закону управління динамічними об'єктами n -го порядку ґрунтується на розгляді нелінійного диференційного рівняння n -го порядку:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, \delta_i(t)) + g_j(\underline{x})u_j = f(\underline{x}, \delta_i(t)) + g_j(\underline{x})u_j \\ y_j = h(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{cases} \quad (1)$$

де $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T = (x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})^T \in R^n$ - вектор стану об'єкту керування; y - вихідна змінна; u - сигнал керування; $f(\cdot)$ та $g(\cdot)$ - нелінійні неперервно диференціюємі функції; $\delta(t)$ - зовнішнє збурення, яке не підлягає контролю.

Рівняння (1) може бути записане в форматі системи n нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_3 \\ \dots\dots\dots \\ \dot{x}_n = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, \delta_i(t)) + g_j(\underline{x})u_j \end{cases} \quad (2)$$

Синтезована інтелектуальна система повинна володіти асимптотичною стійкістю та забезпечувати мінімізацію критерію оптимізації в формі функціонала (3). В якості показового прикладу використано функціонал для одновимірного об'єкту n -го порядку:

$$J = \int_0^{\infty} [\Psi(\underline{x})^2 + \dot{\Psi}(\underline{x})^2] dt, \quad (3)$$

де Ψ - довільна однозначна диференціюєма, або кусково-неперервна функція змінних стану керованого об'єкту, за умови: $\Psi(0) = 0$.

При відсутності обмежень на довільну функцію Ψ , оптимізація функціоналу (3) може бути проведена на базі рівняння Ейлера. В цьому випадку оптимальне керування u^* при виконанні умови $\frac{\partial \Psi}{\partial x_n} \neq 0$ та $g(\underline{x}) \neq 0$ може бути записано в форматі:

$$u^* = -\frac{1}{g(\underline{x})} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_n} \right)^{-1} \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial \Psi}{\partial x_i} f_i(\underline{x}) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial \Psi}{\partial \delta_i} \delta_i + \Psi \right]. \quad (4)$$

Оптимальний закон керування забезпечує перехід точки x_i в просторі станів системи з довільного початкового стану в діапазон $\Psi = 0$.

При використанні в якості контролеру, блоку нечіткого логічного висновку з алгоритмом TSK, значення вихідної змінної розраховується наступним чином:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^M \alpha_i}. \quad (5)$$

В загальному випадку вихідний сигнал нечіткого контролеру визначається співвідношенням:

$$u = \underline{\lambda}^T \zeta(x), \quad (6)$$

де $\underline{\lambda}$ - вектор параметрів нечіткого контролеру, які підлягають налаштуванню.

Оскільки при вирішенні задачі аналітичного синтезу закону управління передбачається визначити параметри нечіткого контролеру, за умови рівності сигналу нечіткого регулятора і еталонного оптимального сигналу, повинна додатково вирішуватись задача аналітичного синтезу закону адаптації.

Закон адаптації запропоновано [1] базувати з урахуванням умови забезпечення стійкості адаптивної системи управління на основі другого методу Ляпунова, з функцією в формі:

$$V_k = V\underline{\theta} + 0,5\chi\Psi^2, \quad \chi > 0, \quad (7)$$

де $\underline{\theta}$ - похибка фактичного вектору параметрів нечіткого контролеру, χ - коефіцієнт настройки.

Розроблений метод аналітичного конструювання інтелектуальних систем управління з нечіткими і нейронними структурами [1], дає змогу при застосуванні базової структури інтелектуальної системи управління багатовимірним технологічним процесом (об'єктом) [1] виконати умову ефективного алгоритму функціонування інтелектуальних систем управління з нечіткими і нейронними структурами.

Необхідно зазначити, що більшість систем інтелектуального керування динамічними об'єктами відрізняються складністю і досить високими вимогами котрі пред'являються до обчислювальних ресурсів. В запропонованій структурі, за рахунок застосування блоків нечіткої інверсної моделі, досягається простота проектування, відсутність проблем зі стійкістю, незначні вимоги до обчислювальних ресурсів, і підвищена швидкодія адаптаційних процесів при використанні ефекту поділу руху в нейромережових системах управління.

Запропонована процедура адаптації нейронечіткого контролеру проводиться шляхом застосування методу аналітичного конструювання інтелектуальних систем управління з нечіткими і нейронними структурами [1].

В якості нейроконтролеру може бути використаний адаптивний нейронечіткий контролер, з динамічним налаштуванням бази правил і

параметрів функцій приналежності при використанні модифікованої форми генетичного алгоритму.

Універсальність апарата нечітких множин і нечіткої логіки обґрунтована наступними теоремами: Теорема FAT (Fuzzy Approximation Theorem) - будь-яка математична система може бути апроксимована системою, заснованою на нечіткій логіці; теорема 2 - для кожної дійсної неперервної функції g , заданої на компактї U та для довільного $\varepsilon > 0$ існує нечітка експертна система, котра формує вихідну функцію $f(x)$ таку, що

$$\sup_{x \in U} \|g(x) - f(x)\| \leq \varepsilon, \quad (8)$$

де $\|\cdot\|$ - символ прийнятої відстані між функціями.

Недоліки нечітких систем: вихідний набір нечітких правил, котрі постулюються, формулюється експертом і може виявитися неповним, суперечливим чи містити похибки, які не усуваються в чисельному алгоритмі; вид і параметри функцій приналежності, що описують вхідні і вихідні змінні стану, вибираються суб'єктивно.

Часткове усунення викладених вище недоліків нечітких систем за рахунок розробленого методу адаптації нейронечіткого контролера забезпечить збільшення меж адаптивної варіації оператора об'єкту, підвищення швидкості початкового настроювання контролера і емулятора, зменшення глобальної похибки.

З метою обґрунтування ефективності запропонованого методу адаптації нейронечіткого контролера, розглянемо нечітку модель узагальненого багаторівневого технологічного процесу, котра побудована за принципом розгрупування вхідних впливів з метою створення ієрархічної структури дерева висновку [2].

Загальний вид елементарної системи A :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \quad (9)$$

де $x_i, i = \overline{1, n}$ - n -мірний вектор $\underline{x} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]^T$ котрим представлені параметрами ТП, що контролюються; y - характеристичний параметр динамічного стану ТП.

Подібний вид системи A з багаторівневим представленням експертних знань застосовується для термінальних вершин та кореня дерева. Подібна структура дозволяє проводити урахування нових змінних ТП по мірі накопичення знань про об'єкт в режимі on-line.

Для даної системи вважається відомим наступне: траєкторії варіації параметрів стану системи: $\forall x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$, $x_i \subseteq \mathfrak{X}$ та $\forall y \in [\underline{y}_i, \overline{y}_i]$; базовий об'єм нечітких продукційних правил $R^j, j = \overline{1, m}$, котрі пов'язують лінгвістичні оцінки факторів впливу $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ та цільовий вихід y ; багаторівневий

настроювання ФП режимі on-line з урахуванням ефекту розділу рухів [3], запропоновано [1] наступну модифікацію метода.

Ідентифікація динамічного стану об'єкту і відповідне настроювання функцій приналежності базується на використанні інформації про поточні значення основних і неосновних параметрів об'єкту від датчиків контролю. Значення апіорної імовірності $P(V_k)$ і умовної імовірності $P(A_i/V_k)$ перебування об'єкта Z в одному з можливих класів V_k дає змогу розрахувати колективне рішення про стан, у якому знаходиться предметна область $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$. Вирішальне правило [4] для прийняття колективного рішення має вигляд:

$$D(S) = \arg \max_{1 \leq m \leq M} P(V_m) \prod_{j \in \text{Im}} [1 - P(A_j/V_m)] \prod_{j \notin \text{Im}} P(A_j/V_m). \quad (13)$$

Для визначення коефіцієнту концентрації функції приналежності позначимо часткові рішення інформаційних систем про стан об'єкту через $\delta_i, i = 1, 2, \dots, N$, де N – загальна кількість ІС, які використовуються при ідентифікації стану предметної області. Множину ІС, які визначили, що стан об'єкту відноситься до m -го класу, позначимо як $I_m, m = 1, 2, \dots, M$.

Оскільки $I_i \cap I_j = 0 \quad \forall i, j = 1, \dots, M$ та $I_1 \cup \dots \cup I_M = \{1, \dots, N\}$ необхідно визначити: множину інформаційних систем I_* , рішення яких співпало з колективним рішенням $I_*^{D(s)}$ про стан в якому знаходиться предметна область $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$; відсоткове значення I_{pe}^* інформаційних систем, рішення яких співпало з колективним; множини інформаційних систем I_M^- та їх відсоткове значення I_{M-per}^- , рішення яких не співпало з колективним рішенням, розрахованим згідно вирішального правила.

За даним методом, значеннями I_{M-per}^- характеризують динамічний стан об'єкту, який може бути класифіковано як стан, що належить терму з координатою максимуму b , розрахованою згідно колективного рішення $D(s)$. У загальному випадку кількість можливих комбінацій часткових рішень дорівнює M^N , в M випадках рішення будуть узгодженими, при цьому коефіцієнт концентрації приймається на рівні мінімального значення $X_{\max} - 0.99 \cdot X_{\max}$, яке забезпечує на нульовому α -рівні функції приналежності, діапазон варіації змінної x у межах допустимої похибки.

При наявності відсоткових переваг коефіцієнт концентрації c функції приналежності може бути розраховано при використанні запропонованого методу [1].

В результаті формування ФП, ступінь приналежності ситуаційного вхідного масиву нечітким термам d_j визначається за наступним алгоритмом: на етапі імплікації враховуються значення ваг правил:

$$\mu^{dj}(\vec{x}^*) = \max_{p=1, k_j} \left\{ w_{jp} \min_{i=1, n} [\mu^{jp}(a_i^{jp}, x_i)] \right\}, j = \overline{1, m}. \quad (7)$$

В результаті нечіткого логічного висновку визначають нечітку безліч і одним з методів дефазифікації нечіткої безлічі, визначають чітке значення характеристичного параметру динамічного стану ТП.

В результаті, інваріантність параметрів адаптивної нейромережевої системи стабілізації нелінійних об'єктів забезпечується за рахунок виділення різних темпів в системі керування і застосуванні контуру адаптації з нечітким емулятором. В умовах фізичної реалізованості різноміжних рухів в системі, настройка нейромережевого контролеру проводиться на початку роботи з наступним підстроюванням за рахунок контуру адаптації з нечітким емулятором. Дана структура і алгоритм роботи системи забезпечує реалізацію еталонної функції управління нейроконтролером на протязі всього інтервалу часу.

Список літератури

1. Звіт з першого етапу НДДКР/ Криворізький техн. університет. – 5.04.3; № ДЗ/30-2004; № ДР0104U004720. –К.,2004.-100 с.
2. Ротштейн О.П., Ларюшкін Є.П., Кательніков Д.І. Багатофакторний аналіз технологічного процесу біоконверсії на основі лінгвістичної інформації // Вісник ВПІ. - №3. - 1997. -С.38-45.
3. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. Кн.8: Учеб. пособие для вузов / Оющая ред. А.И. Галушкина. –М.: ИПРЖ, 2002.
4. Файнзильберг Л.С. Обучаемая система поддержки коллективного решения группы независимых экспертов // Управляющие системы и машины. -2003. -№4.С.62-67.