

В.П.Шокін, канд. техн. наук

(Україна, Кривий Ріг, Криворізький технічний університет)

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ МЕТОДУ СИНТЕЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Метою даної роботи є дослідження основних характеристик багаторівневого технологічного процесу і розробка науково-технічних рішень спрямованих на підвищення якості і надійності автоматичного управління складними технологічними процесами.

Теоретичний аналіз методології синтезу інтелектуальних систем автоматичного керування [1] дозволив зробити висновок, що розробка та впровадження гібридних інтелектуальних систем управління, які використовують динамічну базу знань для перетворення концептуальних понять, дозволить зафіксувати, шляхом інтелектуального підстроювання параметрів системи, задані показники якості при дії на об'єкт неконтрольованих зовнішніх збурень.

В задачі оптимального керування технологічним процесом агломерації в якості вхідних образів обрано набір контрольованих параметрів об'єкта (продуктивність агломашини; частка заліза, руди, вапна і вуглецю в залізорудній частині шихти; вміст повернення в шихті; вологість шихти, енергетичні параметри об'єкта, до складу якого входить електромеханічне устаткування, живильна мережа і т. ін.), вихідний код відповідає поточним значенням контрольованих параметрів і визначає керуючі впливи (вологість шихти; кількість повернення; витрата газу; розрідження в загальному газопроводі; швидкість аглострічки).

Ви рішення глобальних задач автоматичного керування покладено на гібридну систему автоматичного керування (САК), яка повинна реалізовувати складне багатомірне функціональне перетворення вхідного вектора згідно заданого адаптивного алгоритму функціонування.

Розроблена структура інтелектуальної САК нижнього рівня [1] вміщує адаптивну нейронечітку систему, котра виконує функції емулятора інверсної динаміки об'єктів керування.

З метою зниження вимог до обчислювальних ресурсів при підтримці адаптивних властивостей системи необхідно розробити комплекс апаратно-програмного забезпечення інтелектуальної САК орієнтований на оперативне коригування структури бази продукційних правил нейронечітких емуляторів (ННЕ) зворотної динаміки об'єктів керування. Відомі розробки адаптаційних алгоритмів [2, 3] функціонують в режимі накопичення похибки і є доволі складними з точки зору реалізації на базі мікропроцесорних пристроїв, отже питання синтезу блоків корегування структури бази правил невирішене.

В якості базової структури нейронечіткого емулятору обрана мережа Ванга-Менделя з модифікованою формою алгоритму адаптації [2].

Робота розробленого алгоритму ґрунтується на теорії розподілу частоти дискретизації і частоти навчання [1]. В теорії систем управління з дискретним

часом [2] визначено, що період дискретизації T зазвичай обирається згідно наступного емпіричного правила: значення $2\pi/T$ повинно перевищувати максимальну частоту системи.

В традиційних адаптивних системах управління параметри коригуються один раз за кожен період дискретизації, таким чином частота дискретизації і частота корегування не розділяється.

При раціональному навчанні нейроморфних структур базовий темп роботи системи керування розподіляється на додаткові діапазони навчальних ітерацій з умовою, що період дискретизації значно перевищує час, який затрачено на проведення однієї навчальної ітерації.

Час початку внутрішнього темпу $t_0^{<\cap T>}$ є змінним значенням, яке формується системою на базі аналізу часу $t_+^{<\cap T>}$ останнього створення нового кортежу за атрибутами (c, w, L) відношення продукційних правил (рис.1). В даному випадку фіксується час $t_+^{<\cap T>}$ та кардинальне число відношення, яке при виконанні умови (1) є незмінним

$$Id_{\Sigma}(t_n^{<\cap T>}) < Ie_3, \quad (1)$$

де $Id_{\Sigma}(t_n^{<\cap T>})$ – інтегральна оцінка похибки роботи системи ($Id = \int_0^{t_n^{<\cap T>}} (x(t) - y(t)) dt$); Ie_3 – максимальна інтегральна похибка першого періоду настроювання $t_n^{<\cap T>}$.

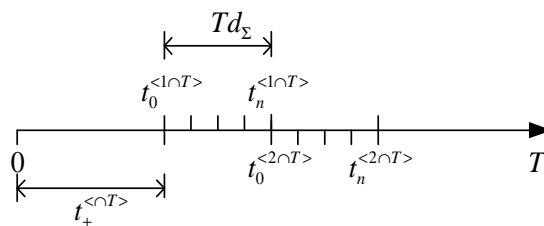


Рис. 1. Розподіл часу при використанні ефекту різнотемпових рухів в ІнСАУ

Закінчення сумарного часу внутрішніх темпів (Td_{Σ}) визначається за наступною формулою

$$t_n^{<1\cap T>} = t + \alpha + \left(t_+^{<\cap T>} - (t_n^{<n\cap T>} - t_+^{<\cap T>}) \right) \cdot \beta, \quad (2)$$

де α, β - варіаційні коефіцієнти темпових рухів, які введені з метою забезпечення додаткових умов надійності функціонування оптимізованої структури.

В даному випадку значення $t_n^{<1\cap T>}$ трактується як орієнтовний час закінчення навчання, при цьому перевод системи в класифікаційний режим прово-

диться при виконанні умови (3) з урахуванням коректування значення $t_n^{<1 \cap T>}$ в кінці кожного періоду внутрішнього темпового руху згідно (4)

$$t_n^{<1 \cap T>} < t_{nom}, \quad (3)$$

де t_{nom} - поточне значення часу.

$$t_n^{<1 \cap T>} = t_{nom} + (t_n^{<1 \cap T>} - t_+^{<1 \cap T>}) \quad (4)$$

Результати розробки аналітичного конструювання закону адаптації нейронечітких елементів систем автоматичного керування.

З метою аналітичного конструювання закону адаптації нейронечіткого емулятору визначено [1] функціональну оцінку якості (E) яка підлягає мінімізації. Якщо визначити вихід k -го нейрону шару через $O(k)$, і провести додаткові перетворення рівняння для визначення корекції синоптичних зв'язків, отримаємо аналітичний закон корегування параметрів функцій приналежності нейронечіткого емулятору:

$$\Delta w_{kj}(t+1) = -\eta \delta_k O_j + \alpha \Delta w_{kj}(t), \quad (5)$$

де

$$\delta_k = e(t+1) \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} O(k) (1 - O(k)) \frac{1}{\sum_{k=1}^M \left[\prod_{j=1}^N w_{ji}^k \right]} \sum_{k=1}^M v_k \left[\prod_{j=1}^N w_{ji}^k \right], \quad (6)$$

де N - кількість нейронів вхідного шару; M - кількість нейронів другого шару; v_k - ваги синаптичних зв'язків, що не підлягають настроюванню; $e(t+1)$ - похибка керування.

Визначення оцінки якобіану системи $\frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)}$ проводиться при використанні нейронечіткого емулятору об'єкта керування.

Результати розробки статистичного методу оптимізації структури бази правил нейронечітких елементів інтелектуальних САУ.

З метою зменшення часу роботи генетичного алгоритму і підвищення його ефективності при проведенні параметричного синтезу асимптотично-стійких, інтелектуальних систем керування пропонується метод експертного визначення коефіцієнту концентрації функцій приналежності і меж дискретизації з метою подальшого корегування бази адаптивно-сформованих правил.

Оскільки точні значення імовірнісних характеристик (апріорна імовірність $P(V_k)$ і умовна імовірність $P(A_i / V_k)$ перебування об'єкта Z в одному з можли-

вих класів V_k , при колективній експертній оцінці інформаційними системами з алгоритмами A_i) найчастіше невідомі, їх оцінку рекомендовано [1] проводити з урахуванням відповідних частот [4].

Помилкові рішення можуть бути визначені на етапі, коли буде отримана достовірніша інформація про стан об'єкту. На даному етапі необхідно сформулювати дійсні класи, в яких знаходилась система на попередньому кроку (в нейромережних технологіях подібна контрольна вибірка має назву – вказівки “вчителя”): $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$.

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 u 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 приймається в якості координати максимуму (b) функції приналежності змінної (x) довільному нечіткому терму (T) - $\mu^T(b) = 1$. Коефіцієнт концентрації (c) функції приналежності розраховується з використанням наступної методики.

Позначимо часткові рішення інформаційних систем про стан об'єкту через $\delta_i, i = 1, 2, \dots, N$, де N – загальна кількість ІС, котрі використовуються при ідентифікації стану предметної області. Множину ІС, котрі 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 наступні значення:

1) множину інформаційних систем (I_*) рішення яких співпало з колективним рішенням ($I_*^{D(s)}$) про стан u якому знаходиться предметна область $y[1], y[2], \dots, y[G]$, де $y[n] \in \{1, \dots, M\}$;

2) відсоткове значення (I_{per}^*) інформаційних систем, рішення яких співпало з колективним;

3) множини інформаційних систем (I_M^-) та їх відсоткове значення $I_{M_per}^-$ рішення яких не співпало з колективним рішенням розрахованим згідно колективного вирішального правила.

Згідно розробленого методу, значення $I_{M_per}^-$ характеризують динамічний стан об'єкту котрий може бути класифіковано як стан, який належить терму з координатою максимуму (b), розрахованою згідно колективного рішення.

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 $X_{max} - 0.99 \cdot X_{max}$, котре 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 з використанням методики [1].

Згідно розробленого методу є можливість провести співставлення параметрів функцій приналежності, які отримані в результаті роботи модифікованого алгоритму адаптації [1] нечіткої мережі Ванга-Менделя і дублюючих параметрів, отриманих на базі статистичної обробки рішень інформаційних систем ідентифікації стану динамічного об'єкту.

Реалізація алгоритму адаптивного настроювання вектору параметрів нейронечіткого емулятору зворотної динаміки об'єкту з оптимізацією параметрів функцій приналежності:

1°. Початкові значення вектору параметрів нечіткого контролеру w копіюються в резервний масив. На початку роботи параметри w явно визначені, оскільки в робочий стан САУ переходить після проведення попереднього настроювання нейронечіткого емулятору, оператор котрого копіюється контролером.

2°. Проводиться розрахунок значень похибки $e(t+1)$ та δ_k згідно (8):

3°. Визначаються ваги синаптичних зв'язків згідно (7).

4°. Коригується структура і параметри продукційних правил згідно співставлення адаптивно-сформованих значень і результату отриманому на базі колективного вирішального правила.

Алгоритм функціонування систем з урахуванням розробленого методу самоорганізації нейронечітких структур інтелектуальних САК.

1°. При старті з першої пари даних $\langle x_1, y_1 \rangle$ створюється перший кластер із центром $c_1 = x_1$. Приймається, що $w_1 = y_1$ й потужність множини $L_1 = 1$.

Позначимо (r) граничну евклідову відстань між вектором x і центром c_i , при якому дані будуть трактуватися як приналежні до створеного кластера.

2°. Після зчитування k -ої навчальної пари $\langle x_k, y_k \rangle$ розраховуються відстані між вектором x_k і всіма існуючими центрами $\|x_k - c_l\|$ для $l = 1, 2, \dots, M$. Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| > r$, то створюється новий кластер. Параметри створених до цього кластерів не змінюються: $w_l(k) = w_l(k-1)$, $L_l(k) = L_l(k-1)$ для $l = 1, 2, \dots, M$.

Якщо $\|x_k - c_{l_k}\| \leq r$, то дані включаються в l_k -й кластер, параметри якого уточнюють відповідно з класичним адаптивним алгоритмом настроювання параметрів нейронечіткої мережі Ванга-Менделя [2].

3°. Розраховується вихід системи згідно результуючої функції котра апроксимує вхідні дані системи [1].

4°. В період часу Td_{Σ} проводиться накопичення інтегральної похибки функціонування системи і динамічне настроювання параметрів нейроморфної структури Ванга-Менделя згідно розробленого методу.

5°. Система переводиться на ш.1-4 за умови збільшення інтегральної похибки.

Висновки. Вперше проведено теоретичне узагальнення та наведено нове вирішення науково-прикладної проблеми синтезу інтелектуальних систем ав-

томатичного управління нелінійними динамічними об'єктами (багаторівневими технологічними процесами), які перебувають під дією неконтрольованих випадкових зовнішніх збурень, що дає змогу проводити ефективне управління з заданими показниками якості та гарантованою стійкістю замкнутої системи.

1. Розроблені теоретичні основи методу аналітичного конструювання законів керування в інтелектуальних системах автоматичного управління, які базуються на використанні загальної теорії нейромережових структур та нечіткої логіки. Розроблений метод дозволяє синтезувати інтелектуальні системи в яких вихідний набір нечітких правил формулюється системою автономно, що забезпечує надання системі адаптивних властивостей, достатню повноту бази правил, відсутність суперечливих правил, нерегульованих погіршень та суб'єктивного фактору при формуванні виду і параметрів функцій приналежності, які описують вхідні та вихідні змінні системи.

2. Розроблено математичний опис оптимального закону керування узагальненої системи при використанні показника абсолютної похибки відтворення системою еталонного сигналу, котрий забезпечує оптимізацію функціоналу якості керування, з метою визначення траєкторії зміщення зображуючої точки в просторі станів системи з випадкового початкового стану в діапазон рівноваги.

3. Розроблена методика структурного синтезу нейронечіткого контролеру з аналітичним співвідношенням вихідного сигналу, яка дає змогу визначити оптимальний закон корегування параметрів нечіткої структури з метою забезпечення заданих показників якості інтелектуальної системи автоматичного управління узагальненим нелінійним динамічним об'єктом.

4. Розроблено метод адаптивного настроювання α - зрізу сформованих функцій приналежності на базі аналітичного конструювання умови стійкості системи за другим методом Ляпунова, що дозволяє забезпечувати задані показники якості керування за умови, коли керуючий вплив входить нелінійно в опис об'єкта в просторі станів.

5. Розроблено метод аналітичного конструювання адаптаційного закону нейронечіткого контролеру, котрий забезпечує зменшення часу адаптивного настроювання системи, урахування заданої похибки системи, підтримку заданого функціоналу якості.

6. Розроблена структура і алгоритм функціонування підсистеми ідентифікації якобіану системи автоматичного управління, який ґрунтується на використанні нейронечіткої структури Ванга-Менделя з розробленим алгоритмом самоорганізації.

Список літератури

1. 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 техн. університет. – 5.04.3; № ДЗ/30 – 2004; № ДР0104U004720. – К., 2004. – 100 с.
2. Verbruggen H.V., Babuska R. Constructing fuzzy models by product space clustering // Fuzzy model identification / Eds. H. Hellendorn, D. Driankov. – Berlin: Springer, 1998. – Pp. 53-90
3. Круглов В.В., Усков А.А. Алгоритм самоорганизации системы нечеткого логического вывода // Вестник МЭИ. 2002. №5. С. 104-106.

4. Файнзильберг Л.С. Обучаемая система поддержки коллективного решения группы независимых экспертов // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 4. С.62-67.