

КОМБІНОВАНЕ УПРАВЛІННЯ НЕЛІНІЙНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

У статті розглянуто комбінаційний підхід до побудови системи управління складними об'єктами. Це обумовлено необхідністю підвищення надійності та ефективності функціонування різноманітних технічних та інших пристроїв і систем.

Ключові слова: нелінійний об'єкт управління, система автоматичного управління, нейронна мережа.

Вступ та постановка завдання. Для управління складними об'єктами в умовах апіорної невизначеності широке застосування знаходять адаптивні системи управління. Однак існуюча теорія адаптивного управління вирішує часткові задачі при істотних обмеженнях. Управляючі впливи формуються пропорційно поточним значенням змінних стану об'єкта управління (ОУ), або з використанням регуляторів з заздалегідь обраною структурою (як правило, за емпіричними правилами) і постійними налаштованим параметрами.

Проте в реальних ситуаціях в адаптивних системах автоматичного управління можна використовувати лише одну реалізацію збурних впливів, які є довільними, але обмеженими за абсолютною величиною функціями часу. Тому традиційні адаптивні системи

автоматичного управління з реальними збурними впливами обов'язково мають статичну похибка регулювання та створюють істотне перерегулювання керованих змінних. Крім того, в нелінійних задачах адаптивного управління виникають двоточкові крайові задачі (ДКЗ), які (за рідкісним винятком) не можна вирішувати в процесі управління в реальному часі навіть чисельними методами. У деяких задачах управління відомі траєкторії переходу в потрібний стан, тільки для частини змінних стану ОУ, а для іншої частини змінних стану, за допомогою нерівностей, задана лише множина допустимих траєкторій. Існуючі алгоритми адаптивного управління такі обмеження не враховують.

В автоматизованих системах підтримки прийняття рішень та управління, призначених для застосування в органах державної влади, використовують прогнозуючі моделі соціологічних та інших процесів з лінгвістичними і семантичними змінними, розроблені за допомогою методів експертного оцінювання. Ці моделі відрізняються високим ступенем суб'єктивізму і не дозволяють визначати такі властивості систем управління, як керованість, спостережуваність і стійкість.

Таким чином, задача синтезу адаптивних систем автоматичного управління нелійними об'єктами є актуальною науковою задачею, рішення якої має велике як теоретичне так і прикладне значення.

Виклад основного матеріалу. Класичні методи синтезу систем управління базуються на добре розвинутому апараті інтегро-диференційного числення, в той саме час, отримують великий розвиток і широке застосування штучні нейронні мережі (ШНМ), які представляють собою альтернативний напрямок в теорії автоматичного управління та пропонують інший спосіб вирішення задачі управління [1, 2, 3].

Переваги нейромережевого підходу, порівняно з класичними методами, полягають у наступному

- паралелізм обробки інформації;
- єдиний і ефективний принцип навчання;
- надійність функціонування;
- здатність вирішувати неформалізовані завдання.

У системах управління вони можуть застосовуватися в якості регуляторів і ідентифікаторів. Для побудови регуляторів і ідентифікаторів найбільше застосування отримали багат шарові нейронні мережі прямого поширення, в яких інформація розповсюджується від шару до шару в напрямку руху сигналу, зворотний рух заборонено. Штучні НМ такого типу отримали широке розповсюдження завдяки простоті структури, швидкодії, за рахунок паралельної обробки інформації, наявності численних розроблених алгоритмів навчання мереж і стандартних програм для їх реалізації. Також, одним з перспективних способів управління є комбіноване управління, в якому нейронні мережі працюють спільно зі звичайними контролерами, ПІД-регуляторами або іншими типами контролерів.

Комбіноване нейро-ПІД управління дозволяє здійснювати самоналаштування ПІД-регулятора в режимі реального часу з використанням нейронних мереж [4-6], з можливістю подальшої адаптації до зовнішніх умов.

Критерієм оптимальності, при такому вигляді управління можуть виступати такі

цільові функції:
$$S(t) = \sqrt{\int_0^{T_m} e^2(t) dt} \rightarrow \min, \quad P(t) = \int_0^{T_m} e^2(t) dt \rightarrow \min,$$

$$\sigma(t) = \left[\frac{u(t) - u_{ycm}(t)}{u_{ycm}(t)} \right] \rightarrow \min$$
 та ін, вибір певного критерію обумовлює метод налаштування

параметрів регулятора, а також обмеження на параметри вихідного сигналу.

Керуючий сигнал, який виробляється регулятором в неперервних системах, при використанні ПІД-регулятора, може бути представлений ідеалізованим рівнянням:

$$u(t) = P + I + D = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt},$$

де K_p, K_i, K_d – коефіцієнти підсилення пропорційної, інтегруючої і диференціальної складові регулятора відповідно, причому K_d має розмірність одиниць часу, а K_i – розмірність зворотній одиницям часу. На рис. 1. показана функціональна схема САУ.

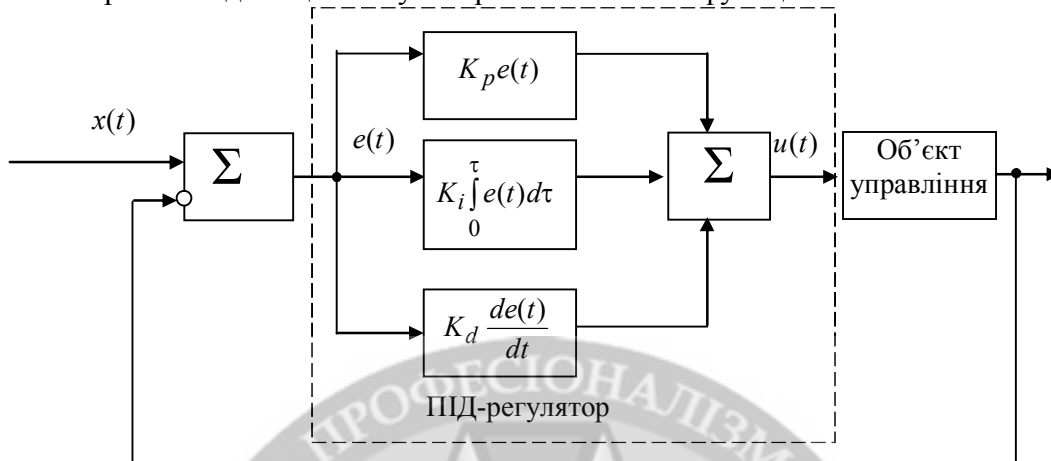


Рис. 1. Функціональна схема САУ

Для налаштування ПІД-регуляторів частіше використовують іншу форму представлення керуючого сигналу, в якій на пропорційний коефіцієнт посилення помножені також інтегральна і диференціальна складові:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + K_{ip} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_{dp} \frac{de(t)}{dt} \right].$$

У дискретних системах, рівняння вихідного сигналу приймає наступний вигляд:

$$u[n] = K_p e[n] + K_p K_{ip} T \sum_{k=0}^n e[k] + \frac{K_p K_{dp}}{T} (e[n] - e[n-1]),$$

де T – час дискретизації, а $t = nT$.

Нехай, $K_i^{discr} = K_p K_{ip} T$, $K_d^{discr} = \frac{K_p K_{dp}}{T}$, тоді рівняння вихідного сигналу дискретної системи можна описати таким виразом:

$$u[n] = K_p e[n] + K_i^{discr} \sum_{k=0}^n e[k] + K_d^{discr} (e[n] - e[n-1]).$$

Для реалізації програм закону регулювання, більш зручним є рекурентний алгоритм.

Він характеризується тим, що для обчислення поточного $u[n]$ значення сигналу використовується його попереднє значення $u[n-1]$ і поправочний коефіцієнт. Після перетворень отримаємо різницеве рівняння для дискретних ПІД-регуляторів:

$$u[n] = u[n-1] + K_p (e[n] - e[n-1]) + K_i^{discr} e[n] + K_d^{discr} (e[n] - 2e[n-1] + e[n-2]). \quad (1)$$

Коефіцієнти, K_p , K_i^{discr} , K_d^{discr} , можуть бути отримані при налаштуванні ПІД-регулятора різними методами: Зіглера-Нікольса, Вільямса, Шоу, Куна; незатухаючих і згасаючих коливань, емпіричним, ітеративним [7], або з використанням нейронної мережі, як показано на рис. 2.

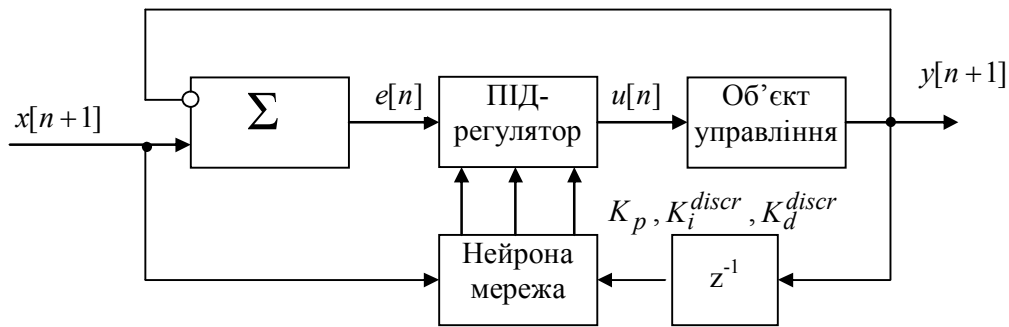


Рис. 2. Функціональна схема комбінованої САУ

Навчена система нейроуправління діє таким чином. На такті n нейронна мережа отримує сигнал $x[n+1]$ і генерує коефіцієнти управління ПІД-регулятора, $K_p[n]$, $K_i^{discr}[n]$, $K_d^{discr}[n]$, які надходять на ПІД-регулятор разом із значенням поточної похибки по ланцюгу зворотного зв'язку $e[n]$, що обчислюється за формулою $e[n] = x[n+1] - y[n+1]$. ПІД-регулятор розраховує керуючий сигнал за формулою (1) і подає його на об'єкт управління.

Навчання нейронної мережі відбувається в режимі реального часу за похибкою зворотного зв'язку, за методом найшвидшого спуску:

$$\Delta w[n] = -\eta e[n] \frac{dy[n+1]}{du[n]} \frac{du[n]}{dK[n]} \frac{dK[n]}{dw[n]}, \quad (2)$$

де $K[n] = [K_p[n], K_i^{discr}[n], K_d^{discr}[n]]^T$ – вектор виходів нейронної мережі, які поступають на

ПІД-регулятор, а $\frac{du[n]}{dK[n]} = \begin{cases} e[n] - e[n-1] & \text{при } i = 1 \\ e[n] & \text{при } i = 2 \\ e[n] - 2e[n-1] + e[n-2] & \text{при } i = 3 \end{cases} \quad [3].$

Перевагами комбінованого методу полягає в простоті експлуатації системи через усунення процедури налаштування регулятора вручну, а також можливість перетворення регулятора в нелінійний контролер. До недоліків методу можна віднести складність оцінки стійкості отриманого нелінійного контролера і наявності математичної моделі об'єкта управління.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети / С.Хайкин: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
3. Вороовский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороовский, К.В. Махотило, С.П. Петрашев, С.А. Сергшеев. – Х.: Основа, 1997. – 112 с.
4. Saiful A. Neuromorphic self-tuning PID controller / Saiful A., Omatu S. // Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, San Francisco, USA, 1993. – P. 552 – 557.
5. Chang W.D. A multivariable on-line adaptive PID controller using auto-tuning neurons / Chang W.D., Hwang R.C., Hsieh J.G. // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2003. – Vol. 16, Issue 1. – P. 57 – 63.
6. http://ailen.org/wp-content/uploads/2011/08/2011_NeuroControl_Survey.pdf / А.Н. Чернодуб, Д.А. Дзюба Обзор методов нейроуправления.
7. Цифровые регуляторы: целевые функции настройки, выбор метода интегрирования, аппаратная реализация / А.А. Воевода, В.А. Жмудь В.А. Хуссуонех, В.А. Васильев // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. – №4(46). – С.3–10.

Рецензент: д.т.н., проф. Жердєв М.К., провідний науковий співробітник, Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.т.н., с.н.с. **Жиров Г.Б.**, к.т.н., доц. **Бахвалов В.Б.**

КОМБИНИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В статье рассмотрен комбинационный подход к построению системы управления сложными объектами. Это обусловлено необходимостью повышения надежности и эффективности функционирования разнообразных технических и других устройств и систем.

Ключевые слова: нелинейный объект управления, система автоматического управления, нейронная сеть.

Ph.D., **Zhirov H**, Ph.D. **Bahvalov B.**

COMBINED CONTROL OF NONLINEAR OBJECTS

This article describes the combination approach to construction management of complex objects. This is due to the need to improve the reliability and efficiency of the various technical and other devices and systems.

Keywords: non-linear object control, automatic control system, the neural network.