

УДК 664:004.89

ОПЕРАТИВНА НЕЙРОМЕРЕЖНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ КЕРУВАННЯ

Слань Ю. М., Трегуб В. Г.

Однією з фундаментальних в теорії систем автоматичного керування є задача ідентифікації технологічного об'єкта керування. Її метою є побудова ідентифікаційної моделі $\hat{P}$, що апроксимує об'єкт P (рис. 1) [1]:

$$\|\hat{y} - y\| = \|\hat{P}(u) - P(u)\| \leq \epsilon, \quad u \in U \quad (1)$$

для деякого заданого $\epsilon > 0$ і визначеної норми $\|\dots\|$.

В рівнянні (1) $\hat{y} = \hat{P}(u)$ — виходи ідентифікаційної моделі, U — допустима множина керувань. Причому, як для статичної, так і для динамічної систем оператор P неявно визначений парами сигналів вхід-вихід $\{u, y\}$.

Отже, задача полягає у побудові оптимальної відповідно до деякого критерію моделі за результатами спостережень за вхідними та вихідними змінними системи [2].

Вибір класу, до якого належить оператор $\hat{P}$, і самого оператора визначається множиною факторів, пов'язаних з бажаною точністю і аналітичним трактуванням моделі. До них відносяться адекватність представлення P з допомогою $\hat{P}$, складність ідентифікації, простота моделі, можливість її розширення та доповнення, а також можливість використання моделі в реальному масштабі часу. Вибір $\hat{P}$ залежить і від наявної апріорної інформації про структуру об'єкта [1].

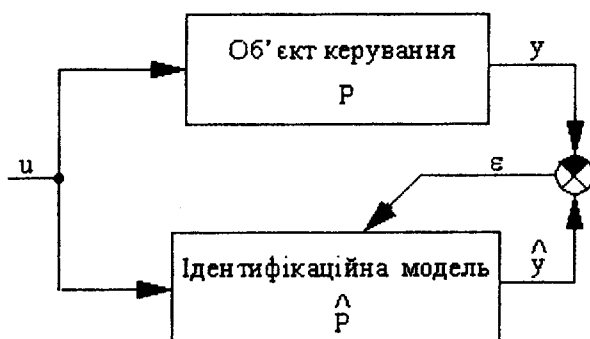


Рис. 1 Ідентифікація об'єкта керування

Завдяки своїм універсальним апроксимуючим властивостям штучні нейронні мережі (ШНМ) являють собою потужний інструмент для розв'язання задачі ідентифікації лінійних та нелінійних статичних та динамічних об'єктів керування, в тому числі стаціонарних або нестационарних. Побудовані на основі ШЕМ дискретні ідентифікаційні моделі називаються нейроемуляторами (НЕ) або предикторами. В загальному вигляді вони описуються наступним нелінійним рівнянням:

$$\hat{y}(k+1) = NN(y(k), y(k-1), \dots, y(k-\ell_1), u(k), u(k-1), \dots, u(k-\ell_2)), \quad (2)$$

де $NN(\dots)$ — перетворення вхід-вихід, що виконує ШНМ, ℓ_1 — глибина затримки зворотного зв'язку по виходу НЕ, ℓ_2 — глибина затримки по входу НЕ.

Структуру штучної нейронної мережі, описану рівнянням (2), показано на рис. 2.

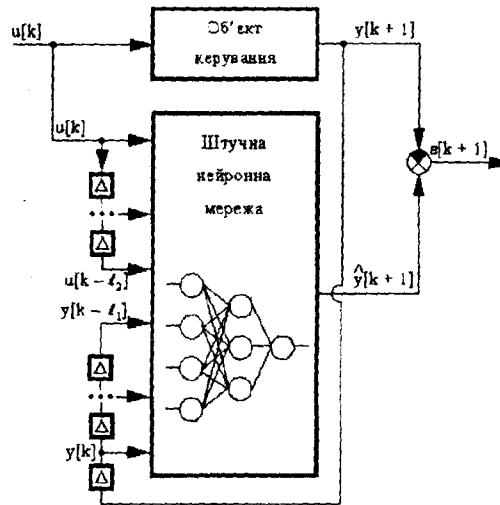


Рис. 2 Структура нейромережної ідентифікаційної моделі

Класично ідентифікація проводиться на основі визначених гіпотез і теоретичних досліджень за наявними експериментальними даними. При цьому особлива увага приділяється фізичному змісту отриманої моделі. Дійсно, отримана з допомогою ШНМ ідентифікаційна модель мало придатна для подальшого аналізу з метою з'ясувати сутність процесів що проходять всередині об'єкта. Це пов'язане з розподіленістю перетворення вхід-вихід, що проводиться нею за всіма нейронами мережі. Однак, відображення фізичної суті процесів і не є необхідною умовою ідентифікації, так як в адаптивній постановці задача полягає в оперативній побудові прогнозу поведінки об'єкта при визначеній стратегії управління.

У випадку необхідності ідентифікації системи в режимі реального часу, коли на кожному кроці синтезу сигналу керування необхідно мати адекватну модель реального об'єкту використовують так звані рекурентні методи оптимізації [2].

Особливості використання рекурентних алгоритмів при оптимізації параметрів нейронних мереж полягають на такому принципі, що на кожній ітерації використовується лише одна пара даних „вхід-вихід” $\{u, y\}$ з множини експериментальних даних:

$$\theta_i(u, y) = \theta_{i-1}(u, y) + \mu_i \cdot f_i, \quad (3)$$

де θ_i, θ_{i-1} на поточному та попередньому кроках характеризують набір параметрів, що підлягають налаштуванню; μ_i — крок пошуку; f_i — функція, що визначає напрям пошуку.

Більшість рекурентних алгоритмів [2 — 5] розроблені для оцінки досить простих лінійних моделей. У випадку, коли модельна структура містить велику кількість параметрів настройки, застосування рекурентних алгоритмів в режимі реального часу стає досить проблематичним. В даному випадку переналаштування параметрів мережі відбувається досить тривало і втрачаються її можливості ідентифікації об'єкта в реальному масштабі часу.

Одним з найпростіших методів реалізації рекурентних алгоритмів налаштування параметрів штучної нейронної мережі є рекурентний градієнтний метод. В теорії нейронних мереж цей метод отримав назву рекурентного методу зворотного поширення помилки. Для даного випадку величина f_i в рівнянні (3) визначається таким чином [6]:

$$f_i = \psi(i, \theta_{i-1}) \cdot \varepsilon(i, \theta_{i-1}), \quad (4)$$

де $\psi(i, \theta) = \frac{d\hat{y}(i|\theta)}{d\theta}$, $\varepsilon(i, \theta_{i-1})$ — різниця між сигналами на виході об'єкта та його нейромережної моделі.

В якості досліджуваного об'єкту використано послідовне з'єднання аперіодичної ланки першого порядку та ланки чистого запізнення. При цьому динамічні параметри об'єкта є нестационарними, що виражається зміною його коефіцієнту передачі та сталої часу в межах 0,5 – 1,5 (од. вим. y / од. вим. u) та 50 – 150 с відповідно (за нормальним законом розподілу); збурення, змінюється аналогічно в межах $-20\% \dots +20\%$. На об'єкті працює лінійний ПІ-регулятор, параметри якого налаштовано шляхом їх почергової зміни до досягнення мінімального значення дисперсії розузгодження:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - m_x)^2. \quad (5)$$

Як нейромережний ідентифікатор дослідним шляхом обрано штучну нейронну мережу, що має чотири входи та складається з одного захованого шару з десятьма нейронами з логістичними функціями активації і вихідного шару з одним нейроном і лінійною функцією активації. Чотири входи мережі характеризують стан об'єкту на $i-1$ та $i-2$ кроках а також значення сигналу керування на поточному та попередньому кроках.

З використанням рекурентної процедури (3) – (4) за допомогою математичного пакету Matlab побудовано алгоритм оперативної нейромережної ідентифікації.

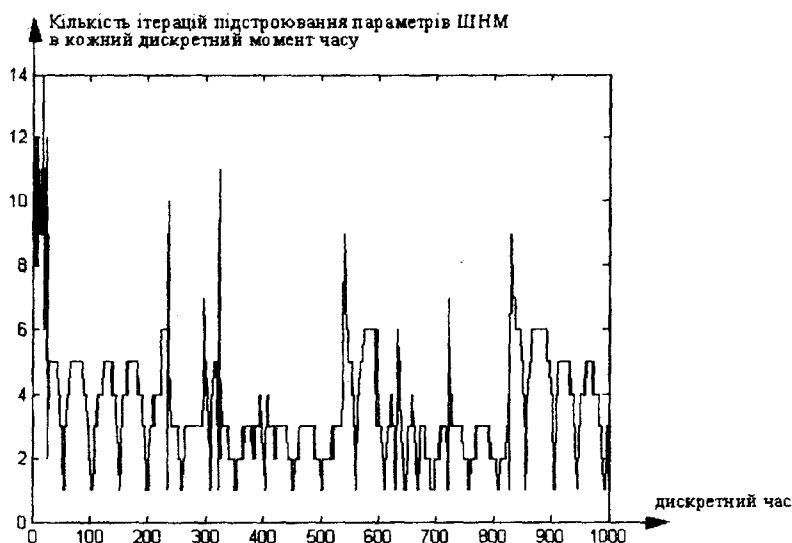


Рис. 3 Процедура оперативної нейромережної ідентифікації

На рис. 3 показано кількість ітерацій, що виконуються для підстроювання параметрів нейронної мережі, в кожному дискретний моменту часу роботи об'єкта. Ця процедура починає працювати кожного разу при зміні параметрів об'єкта керування і виникненні розузгодженості між виходом об'єкта та його оцінки на виході ідентифікатора. З малюнку видно, що на початкових кроках ідентифікації кількість ітерацій підстроювання може бути значно більша 0. Це пов'язане з тим, що потрібен деякий час для встановлення певної рівноваги між коефіцієнтами настройки нейронної мережі, тобто повинне відбутись попереднє її пристосування до об'єкту керування.

Результатом роботи процедури рекурентної ідентифікації є отримання адекватної оцінки вихідного параметру об'єкта. На рис. 4. суцільною лінією показано реалізацію випадкового процесу на виході об'єкта, а маркерами „*” показано сигнали на виході оперативного ідентифікатора через кожні 10 дискретних моментів часу. Основною вимогою застосування оперативного ідентифікатора є те, що при цьому динаміка нестационарності об'єкта керування повинна бути повільнішою за період переналаштування його параметрів.

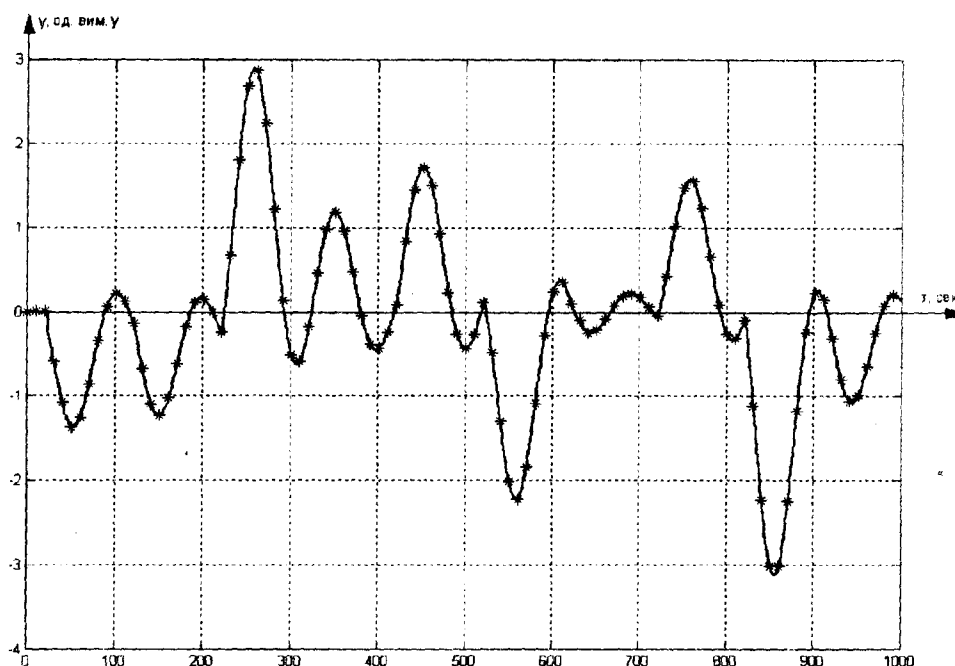


Рис. 4 Оперативна нейромережна ідентифікація нестационарного об'єкта керування

Висновки. Проведені дослідження з нейромережними алгоритмами оперативної ідентифікації показали:

- ✓ штучні нейронні мережі здатні давати адекватну оцінку параметрів стану об'єкта керування в реальному часі його роботи та оперативно відслідковувати їх зміни для прийняття відповідних рішень щодо розрахунку нових керуючих впливів;
- ✓ градієнтний рекурентний метод настроювання параметрів штучної нейронної мережі має досить високу швидкодію та не вимагає великих затрат оперативної пам'яті.

Article describes the results of the operative neural-network identification based on recurrent gradient method tuning of the artificial neural network parameters. This algorithm is the fastest and most elementary between the methods of this class. It requires the least expense of the operative memory.

1. Narendra K. S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical systems using neural networks // IEEE Transactions on Neural Networks.— 1990.— Vol. 1.— No. 1.— p. 4 – 27.
2. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991.— 432 с.
3. Гроп Д. Методы идентификации систем: Пер. с англ.— М.: Мир, 1979.— 302 с.
4. Сейдж Э. П., Мелса Д. Л. Идентификация систем управления: Пер с англ.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974.— 248 с.
5. Цыпкин Я. З. Информационная теория идентификации.— М.: Наука, 1995.— 336 с.
6. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н. Д. Егупова.— М.: Изд.-во МГТУ им. Баумана, 2002.— 744 с.