УДК 621.317
© М. Наконечний[1], 2012

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ДЛЯ НАВЧАННЯ НЕЙРОННИХ КОНТРОЛЕРІВ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗОВАНОЇ ПОХИБКИ ВИХІДНОГО СИГНАЛУ

Розглянуто особливості формування навчальних послідовностей для реалізації процедури навчання нейронних контролерів на основі прогнозованої похибки виходу при використанні методів адаптації і групового навчання.

The considered features of the formation of learning sequences for implementing procedures training neural controllers based on the estimated output error using the methods of adaptation and group studing.

1.ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Як відомо, багатошарові нейронні мережі і алгоритми оберненого розповсюдження похибки розроблялися для задач розпізнавання образів, де навчальні зразки є статичними, процедура навчання і функція похибки – однозначні, і тому немає необхідності проводити навчання мережі в реальному часі [1, 2, 3]. В керуванні, де навчальні зразки на протязі функціонування системи змінюються в часі, необхідно використовувати спеціальні алгоритми навчання з різними формами функції похибки, і процес навчання мережі в реальному часі в більшості випадків є обов'язковим [1, 2, 3].

2. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розглянемо один з підходів до навчання нейронного контролера, при реалізації якого на протязі одного періоду дискретизації виконується декілька навчальних операцій.

Даний підхід базується на використанні конфігурації, в якій процес навчання реалізується на основі двох послідовно включених нейронних мережах, перша з яких відповідає нейронному контролеру, а друга – нейронному емулятору, при цьому слід зауважити, що вагові коефіцієнти нейронного емулятора визначаються попередньо і запам'ятовуються на стадії ідентифікації об'єкта керування.

Схема навчання нейронного контролера з використанням нейронного емулятора наведена на рис.1.

[1] Національний університет «Львівська політехніка»

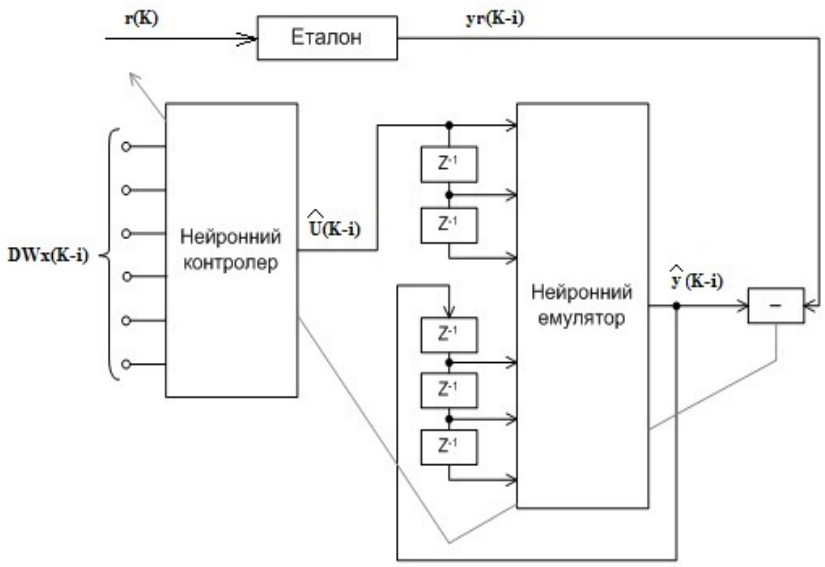

Рис. 1. Схема навчання нейронного контролера з використанням нейронного емулятора

Для вибору конфігурації і числа входів контролера використовується співвідношення:

$$X_k(t)=[U(t-1),U(t-2),\ldots,U(t-\overline{p}),y(t+1),y(t),\ldots,y(t-\overline{q}+1)]^{\tau}. \quad (1)$$

В загальному випадку на вибір числа входів контролера не існує жорстких обмежень. Вибір мінімального числа входів контролера можна здійснювати, використовуючи наближені оцінки диференціального рівняння об’єкта, які визначаються порядками його правої і лівої частин. У зв’язку з необхідністю врахування передісторії процесу в об’єкті по вхідній і вихідній змінних, яка випливає з співвідношення (5.26), число входів контролера необхідно вибирати так, щоб при навчанні контролера враховувалася інформація про вихідну величину об’єкта в даний момент часу, а також значення величин на його вході і виході в два-три попередні моменти часу. В нашому випадку число входів вибрано рівним шести.

Припустимо, що на к-му кроці в пам’яті записано n·(q+1) попередніх значень змінної y (включаючи y(к)), (n·p) попередніх значень змінної U, а також n значень задаючого сигналу yr, де p і q – наближені оцінки порядку диференціального рівняння об’єкта, n – число пар записаних у пам’яті вхідних і вихідних сигналів.

Наявність таких даних еквівалентна тому, що в пам'яті записано n пар вхідних і задаючих векторів, сформованих на базі сигналів, які отримані в даний і попередні моменти часу на основі співвідношень:

$$DWx(K-i)=[z^{-1}U(K-i), z^{-2}U(K-i), z^{-3}U(K-i), y(K-i), z^{-1}y(K-i), z^{-2}y(K-i)]^T, \quad (2)$$

$$DWyx(K-i)=yr(K-i), \quad (3)$$

де i=0,1,2,…,(n-1).

У відповідності з виразом $U(k)=\varphi_{нк}[DWx(K)]$, вихідний сигнал нейронного контролера на к-му кроці по завершенні останньої ітерації визначається наступним чином:

$$\hat{U}(k-i) = \varphi_{нк}[DWx(k-i)]^T \quad (4)$$

де i=0.

Проте на к-му кроці, до моменту приходу сигналів DWx(k-i) і DWyx(k-i), для яких i=0, було проведено (n-1)-е коригування нейронного контролера, причому (n-1)-е коригування проводилося на збережених у пам'яті вхідних DWx(k-i) і задаючих DWyx(k-i) векторах, для яких i=1,2,…,(n-1), а останнє коригування було виконане з використанням реальних значень задаючого сигналу yr(k) і вхідного сигналу r(k). З врахуванням того, що початковими значеннями вагових коефіцієнтів для проведення першого коригування нейронного контролера на к-му кроці є значення вагових коефіцієнтів, які отримано в процесі останнього (n-1)-го коригування нейронного контролера на (к-1)-му кроці, вихідний сигнал емулятора на к-му кроці визначається наступним чином:

$$\hat{Y}(K-1) = \{\varphi_{НК}^{K,i}[DWx(K-i)]^T\}, \quad (5)$$

для якого i=0.

Процедура навчання інверсно-динамічного нейронного контролера для трьох записаних у пам'яті сигналів на (к-1)-му і к-му кроках (к=499 і к=500) при використанні функції adapt наведена на рис. 2.

В даній схемі на протязі одного періоду дискретизації виконується три навчальні ітерації.

Прогнозовані величини виходу емулятора обчислюються за схемою, яка наведена на рис. 2. і допускає на кроках к=499 і к=500 використання вхідних векторів DWx(497), DWx(498) і DWx(498), DWx(499), а також задаючих сигналів DWyx(497), DWyx(498) і DWyx(498), DWyx(499), які записані у пам'яті, при чому два останні вхідні вектори DWx(499), DWx(500) і два задаючі вектори DWyx(499), DWyx(500)на вказаних кроках формуються з використанням величин yr(499), yr(500) і r(499), r(500), перші з яких є задаючими сигналами при навчанні контролера, а другі – вхідними сигналами нейронного контролера на кроках к=499 і к=500.

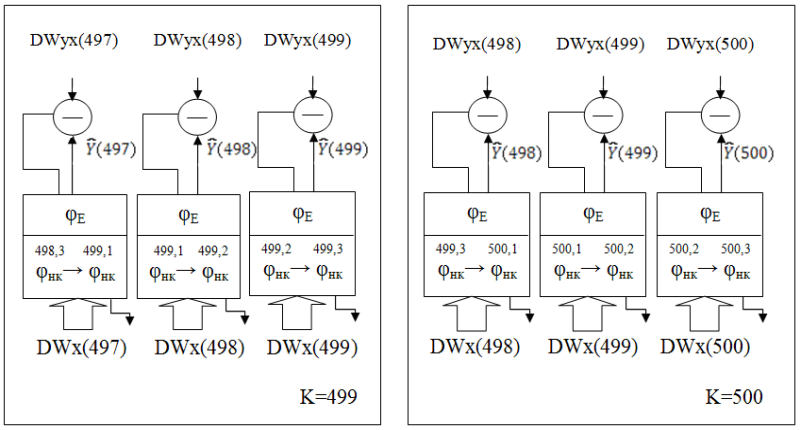

Рис. 2. Процедура навчання інверсно-динамічного нейронного контролера на (к-1)-му і к-му кроках (к=500) з використанням функції adapt

Процедура формування послідовностей вхідних і задаючих сигналів для навчання інверсно-динамічного нейронного контролера на основі прогнозованої похибки виходу в режимі адаптації при використанні функції train показана в табл. 1.

Таблиця 1

Процедура формування послідовностей вхідних і задаючих сигналів для навчання інверсно-динамічного нейронного контролера в режимі адаптації при використанні функції train.

Datap =	[DWx(K-4)	DWx(K-3)	DWx(K-2)	DWx(K-1)	DWx(K)]	
	$Z^{-1}U(K-4)$	$Z^{-1}U(K-3)$	$Z^{-1}U(K-2)$	$Z^{-1}U(K-1)$	$Z^{-1}U(K)$	→ 1/z
	$Z^{-2}U(K-4)$	$Z^{-2}U(K-3)$	$Z^{-2}U(K-2)$	$Z^{-2}U(K-1)$	$Z^{-2}U(K)$	→ 1/z
	$Z^{-3}U(K-4)$	$Z^{-3}U(K-3)$	$Z^{-3}U(K-2)$	$Z^{-3}U(K-1)$	$Z^{-3}U(K)$	→ 1/z
	$y(K-4)$	$y(K-3)$	$y(K-2)$	$y(K-1)$	$r(K)$	→
	$Z^{-1}y(K-4)$	$Z^{-1}y(K-3)$	$Z^{-1}y(K-2)$	$Z^{-1}y(K-1)$	$Z^{-1}y(K)$	→ 1/z
	$Z^{-2}y(K-4)$	$Z^{-2}y(K-3)$	$Z^{-2}y(K-2)$	$Z^{-2}y(K-1)$	$Z^{-2}y(K)$	→ 1/z
	$yr(K-4)$	$yr(K-3)$	$yr(K-2)$	$yr(K-1)$	$yr(K)$	
Datat =	[DWyx(K-4)	DWyx(K-3)	DWyx(K-2)	DWyx(K-1)	DWyx(K)]	

Віртуальний сигнал на виході нейронного контролера на к-му кроці при використанні функції train визначається наступним чином:

$$\hat{U}(K) = \phi_{НК}(K) = [DWx(K-n), DWx(K-n+1), DWx(K-n+2), ..., DWx(K-n+i)], \quad (6)$$

де i=1,2,…,(n-1).

$\phi_{НК}(K)$ − функція перетворення вхідних векторів, які підводяться до входу нейронної мережі у віртуальний вихідний сигнал контролера на к-му кроці при використанні функції train.

Віртуальний сигнал на виході нейронного емулятора на K-му кроці при використанні методу train має наступний вигляд:

$$\hat{Y}(K) = \phi_E(\phi_{НК}(K)[DWx(K-n), DWx(K-n+1), DWx(K-n+2), ..., DWx(K-n+i)]), \quad (7)$$

де φ_E − функція перетворення віртуального вихідного сигналу контролера у віртуальний вихідний сигнал емулятора.

По завершенні процедури навчання нейронного контролера на к-му кроці отримані значення вагових коефіцієнтів з середовища MATLAB (пакет Neural Network) експортуються у відповідні позиції контролера, синтезованого в середовищі SIMULINK .

Фомування сигналу на виході системи керування в середовищі SIMULINK на (к+1)-му кроці здійснюється за допомогою контролера з оновленою функцією перетворення , обчисленою в MATLAB і експортованою в на к-му кроці в середовище SIMULINK, тобто $\phi_{НК}(K) \to \phi_{KS}(K+1)$.

Вихідний сигнал системи керування в середовищі SIMULINK на (к+1)-му кроці має наступний вигляд:

$$Y(K+1) = \\ = \{\phi_{KS}(K+1)[z^{-1}U(K+1), z^{-2}U(K+1), z^{-3}U(K+1), r(K+1), z^{-1}y(K+1), z^{-2}y(K+1)]^T\}G_0, \quad (8)$$

де G_0 − математичне представлення об’єкта керування в середовищі SIMULINK. Сформовані на 499-му і 500-му кроках послідовності п’яти вхідних і вихідних сигналів для навчання інверсно-динамічного нейронного контролера при використанні функції train наведені в табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Сформовані на (к-1)-му (499-му) кроці послідовності вхідних і задаючих сигналів для навчання інверсно-динамічного нейронного контролера на основі прогнозованої похибки в режимі адаптації при використанні функції train.

DWx(K-4) 495	DWx(K-3) 496	DWx(K-2) 497	DWx(K-1) 498	DWx(K) 499
z^{-1}U(K-4,1) 3.5397	z^{-1}U(K-3,1) 3.5201	z^{-1}U(K-2,1) 3.5366	z^{-1}U(K-1,1) 3.5937	z^{-1}U(K,1) 3.6782
z^{-2}U (K-4,1) 3.5644	z^{-2}U (K-3,1) 3.5397	z^{-2}U (K-2,1) 3.5201	z^{-2}U (K-1,1) 3.5366	z^{-2}U (K,1) 3.5937
z^{-3}U (K-4,1) 3.5494	z^{-3}U (K-3,1) 3.5644	z^{-3}U (K-2,1) 3.5397	z^{-3}U (K-1,1) 3.5201	z^{-3}U (K,1) 3.5366
y(K-4,1) 0.696	y (K-3,1) 0.0717	y (K-2,1) 0.0728	y (K-1,1) 0.0732	r(K,1) 0.0673
z^{-1}y (K-4,1) 0.0668	z^{-1}y (K-3,1) 0.696	z^{-1}y (K-2,1) 0.0717	z^{-1}y (K-1,1) 0.0728	z^{-1}y (K,1) 0.0732
z^{-2}y (K-4,1) 0.0632	z^{-2}y (K-3,1) 0.668	z^{-2}y (K-2,1) 0.0696	z^{-2}y (K-1,1) 0.0717	z^{-2}y (K,1) 0.0728
r (K-4,1) 0.0720	yr(K-3,1) 0.0733	yr(K-2,1) 0.0742	yr (K-1,1) 0.0747	yr(K,1) 0.0746
DWyx(K-4) 495	DWyx(K-3) 496	DWyx(K-2) 497	DWyx(K-1) 498	DWyx(K) 499

Таблиця 3

Сформовані на к-му (500-му) кроці послідовності вхідних і задаючих сигналів для навчання інверсно-динамічного нейронного контролера на основі прогнозованої похибки в режимі адаптації при використанні функції train.

DWx(K-4) 496	DWx(K-3) 497	DWx(K-2) 498	DWx(K-1) 499	DW(K) 500
z^{-1}U(K-4,1) 3.5201	z^{-1}U(K-3,1) 3.5366	z^{-1}U(K-2,1) 3.5937	z^{-1}U(K-1,1) 3.6782	z^{-1}U(K,1) 3.7684
z^{-2}U (K-4,1) 3.5397	z^{-2}U (K-3,1) 3.5201	z^{-2}U (K-2,1) 3.5366	z^{-2}U (K-1,1) 3.5937	z^{-2}U (K,1) 3.6782
z^{-3}U (K-4,1) 3.5644	z^{-3}U (K-3,1) 3.5397	z^{-3}U (K-2,1) 3.5201	z^{-3}U (K-1,1) 3.5366	z^{-3}U (K,1) 3.5937
y(K-4,1) 0.0717	y (K-3,1) 0.0728	y (K-2,1) 0.0732	y (K-1,1) 0.0731	r(K,1) 0.0637
z^{-1}y (K-4,1) 0.0696	z^{-1}y (K-3,1) 0.0717	z^{-1}y (K-2,1) 0.0728	z^{-1}y (K-1,1) 0.0732	z^{-1}y (K,1) 0.0731
z^{-2}y (K-4,1) 0.0668	z^{-2}y (K-3,1) 0.696	z^{-2}y (K-2,1) 0.0717	z^{-2}y (K-1,1) 0.0728	z^{-2}y (K,1) 0.0732
r (K-4,1) 0.0733	yr (K-3,1) 0.742	yr (K-2,1) 0.0747	yr (K-1,1) 0.0746	yr (K,1) 0.0741
DWyx(K-4) 496	DWyx(K-3) 497	DWyx(K-2) 498	DWyx(K-1) 499	DWyx(K) 500

Процедура навчання інверсно-динамічного нейронного контролера з використанням функції train на (к-1)-му і к-му кроках (к=500) наведена на рис.3.

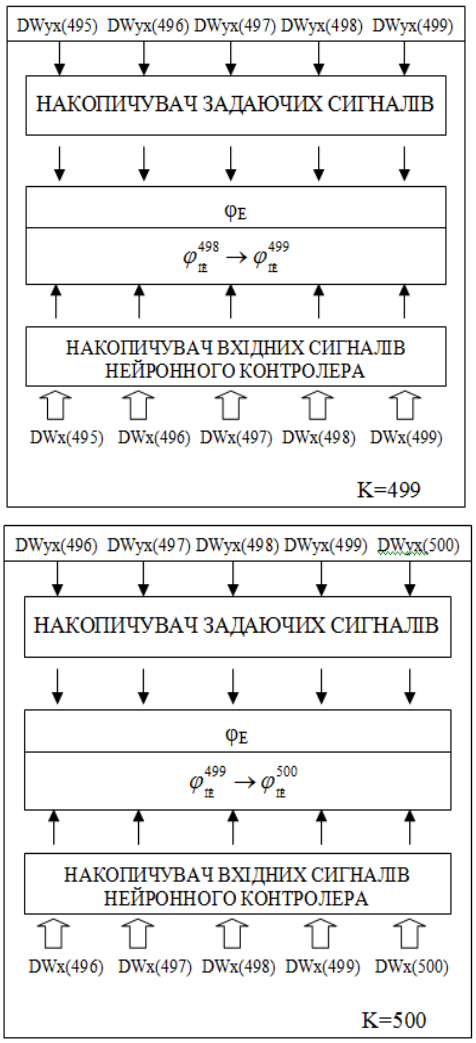

Рис. 3 Процедура навчання інверсно-динамічного нейронного контролера з використанням функції train на (к-1)-му і к-му кроках

3.ВИСНОВКИ

На основі результатів моделювання систем автоматичного керування з використанням нейронних контролерів, навчання яких проводилося на основі методів адаптації і групового навчання встановлено, що контролери реалізація яких здійснювалася з використанням методу адаптації не забезпечують сходження процесу навчання і тому їх використання є не перспективним. При використанні методу групового навчання досить швидко досягається збіжність процесу навчання нейронного контролера і, як наслідок, забезпечуються задані показники функціонуваня системи керування в статичному і динамічному режимах роботи.

1. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы искусственных нейронных сетей. – Харьков: Телетех, 2002. – 317 с. 2. Уоссерман Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992 – 176с. 3. Беркинблит М.Б. Нейронные сети. М.: МИРОС, 1993. – 282с.