

УДК 621.391

Толубко В.Б., д.т.н.; Мельник Ю.В., к.т.н., с.н.с.; Макаренко А.О., к.т.н.

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ УПРАВЛІННЯ НЕСТАЦІОНАРНИМ ОБ'ЄКТОМ НА ОСНОВІ МЕТОДУ АДАПТАЦІЇ ПО ВИЯВЛЕННЮ РОЗЛАДНАННЯ

Tolubko V.B., Melnik Yu.V., Makarenko A.O. Neural control of non-stationary objects based on detection methods of adaptation discomfiture

The article deals with the methods of automatic control adapted to the non-stationary behavior of the object. It is noted that in the process of functioning possible random destructive effects that change the characteristics of system elements. These processes can sometimes be foreseen, but it's always difficult to describe precisely. The conclusion is drawn on the importance of the development of methods of automatic control, adapted to the unsteady behavior of the object. An approach with constant adaptation of the neural network regulator in which the neural network is adapted to changes in the dynamic characteristics of the object is investigated. In the scheme of constant adaptation used neural networks of direct distribution. It is noted that when changing the dynamic properties of the object of management requires adaptation of both the neural network regulator and the neural network identifier. The method can be applied to the case of smooth non-stationary, that is, when changes in object parameters occur gradually and slowly. It is concluded that the method of constant adaptation is rather uneconomical, since the learning algorithm of both neural networks is constantly on. It is suggested to use the method of adaptation to detect the disorder. The difference between the method is the presence of a block of detection of changes in the properties of the control object. The task of determining the dissociation is solved using the algorithm of cumulative sums, and for the reliability of the detection of dissociation, a pair of triggers is taken within the calculated average delay time. As a parameter that is well defined for changing the parameters of the control object, the variance of the identification error is used. After detecting the disruption, the necessary data is collected and the neural network identifier is trained outside the control circuit. An algorithm is proposed that allows to dynamically form the training set for the reliability of the neural network approximation of an unknown function, which presupposes the behavior of the object of management. This training set is used when setting the NMO outside the control loop.

Keywords: automatic control, neural network regulator, adaptation, disruption, identification errors.

Толубко В.Б., Мельник Ю.В., Макаренко А.О. Нейромережеве управління нестационарним об'єктом на основі методу адаптації по виявленню розладнання

В статті розглянуто методи автоматичного управління адаптовані до нестационарної поведінки об'єкту. Запропоновано використовувати метод адаптації по виявленню розладнання. Відмінністю методу є наявність блоку виявлення змін властивостей об'єкту управління. Запропонований алгоритм що дозволяє динамічно формувати навчальну множину для надійності нейромережевої апроксимації невідомої функції, що передбачає поведінку об'єкту управління.

Ключові слова: автоматичне управління, нейромережевий регулятор, адаптація, розладнання, помилки ідентифікації.

Толубко В.Б., Мельник Ю.В., Макаренко А.А. Нейросетевое управления нестационарным объектом на основе метода адаптации по выявлению разладки

В статье рассмотрены методы автоматического управления, адаптированные к нестационарному поведению объекта. Предложено использовать метод адаптации по выявлению разладки. Отличием метода является наличие блока определения изменений свойств объекта управления. Предложенной алгоритм позволяет динамично формировать обучающее множество для надежности нейросетевой аппроксимации неизвестной функции, что прогнозирует поведение объекта управления.

Ключевые слова: автоматическое управление, нейросетевой регулятор, адаптация, разладка, ошибки идентификации.

Вступ

У більшості випадків система управління проектується виходячи з припущення про постійність її параметрів. Елементи системи управління з часом зношуються, умови зовнішнього середовища змінюються, в процесі функціонування можливі випадкові деструктивні впливи, що змінюють характеристики елементів системи. Ці процеси іноді можна передбачити, але завжди важко точно описати, бо вони носять ймовірнісний характер.

Випадкові впливи на елементи системи автоматичного управління повністю непередбачені як по вірогідності їх появи, так і по ефекту прояву [1]. Випадки катастрофічних змін, як правило, легко відстежуються та виправляються заміною елементів, що вийшли з ладу. Проте, невеликі зміни визивають малопомітні відхилення у штатному функціонуванні системи, які можуть призвести до серйозних наслідків через деякий час: підвищеного зносу, браку, збоєм в інших зв'язаних системах управління.

Вищеперераховані фактори однозначно свідчать про важливість розвитку методів автоматичного управління, адаптованих до нестаціонарної поведінки об'єкту [2, 3]. Найбільш очевидним представляється розглянути випадок спонтанної стрибкоподібної зміни властивості об'єкту.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для вирішення задачі достатньо поширеним є підхід з постійною адаптацією нейромережевого регулятора. В цьому випадку нейронна мережа буде підлаштовуватися до змін динамічних характеристик об'єкту [4]. Даний підхід можна реалізовувати в рамках алгоритмів налаштування нейромережевого регулятора, які використовують пряму або непряму нейромережеву інверсію об'єкту управління. Згідно методу непрямого адаптивного управління для нестаціонарного об'єкту налаштування нейромережевого регулятора відбувається за допомогою попередньо навченої нейронної мережі ідентифікатору. В стаціонарних умовах нейромережева ідентифікація може бути проведена один раз [5, 6]. Проте при зміні динамічних властивостей об'єкту управління потрібна адаптація як нейромережевого регулятора, так і нейронної мережі ідентифікатору. При постійній активності алгоритму адаптації обидві нейронні мережі безперервно знаходяться у стані налаштування. На рис. 1 наведена схема системи управління з алгоритмом постійної адаптації.

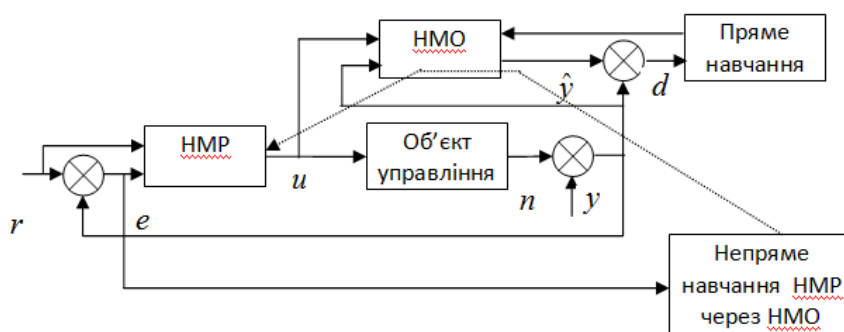


Рис. 1. Контур управління зі схемою постійної адаптації

Зовнішніми вхідними сигналами системи управління є уставка r та адитивна перешкода n спостережуваного виходу об'єкту. Нейромережевий регулятор (НМР) справляє на об'єкт управління вплив u з метою мінімізувати помилку управління $e = r - y$. Паралельно об'єкту увімкнена нейронна мережа ідентифікатору (НМО), яка по керуючому впливу регулятора u та попереднім спостереженням виходу об'єкту y передбачає вихід об'єкту \hat{y} в наступний момент часу.

Одночасно увімкнені два алгоритми налаштування нейронних мереж: пряме навчання нейромережевого регулятора на основі помилки ідентифікації $d = y - \hat{y}$ та непряме навчання нейромережевого регулятора шляхом зворотного поширення помилки управління e через НМО до НМР.

В схемі постійної адаптації використовуються нейронні мережі прямого поширення [4]. Архітектура нейронних мереж регулятора та ідентифікатору показана на рис. 2. для кращого моделювання динаміки об'єкту управління на вхід НМО подаються сигнали u та y декількох минулих моментів часу D_u та D_y відповідно (Рис.2а). Нейромережевий регулятор отримує на вхід не тільки значення помилки управління, але й уставку (Рис. 2б) [7]. Це забезпечує динаміку регулювання за відсутності зворотних зв'язків в нейромережі.

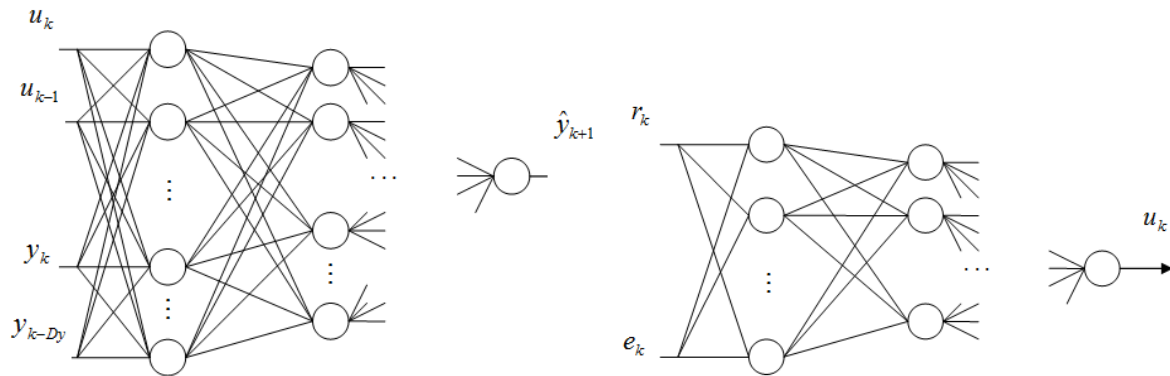


Рис. 2. Архітектура нейронних мереж моделі об'єкту (а) та регулятора (б)

В процесі зворотного поширення помилки управління через нейромережу ідентифікатору поправки вагових коефіцієнтів розраховуються, але не застосовуються, оскільки задача мінімізації помилки управління покладається на нейронну мережу регулятора, чий вагові коефіцієнти змінюються з цією метою. Процес навчання нейромережі ідентифікатору відбувається незалежно від навчання регулятора, тобто, поправки вагових коефіцієнтів розраховуються незалежно та не впливають один на одного [3, 5]. Навчання відбувається в контурі в реальному часі та без перевірконої вибірки. Розраховані зміни вагових коефіцієнтів нейронних мереж підсумовуються протягом декількох тактів роботи дискретної системи управління та застосовуються (змінюють нейронну мережу) з деякою періодичністю.

Очевидно, що метод постійної адаптації є досить неекономічним, оскільки алгоритм навчання обох нейромереж увімкнений постійно. Крім того, швидкі зміни параметрів об'єкту можуть вивести контур управління з сталості. Таким чином, цей метод може бути застосований для випадку гладкої нестационарності, тобто коли зміни параметрів об'єкту відбуваються поступово та повільно [8].

Для усунення недоліків методу постійної адаптації пропонується новий підхід, який в стаціонарних умовах не передбачає змін нейронних мереж, однак при цьому функція блоку виявлення змін властивостей об'єкту управління – розладнання (Рис. 3).

Після виявлення розладнання відбувається збір необхідних даних та проводиться навчання нейронної мережі ідентифікатору НМО поза контуром управління. По завершенню навчання ідентифікатору він вмикається в активовану схему адаптації нейромережевого регулятора НМР (Рис.4).

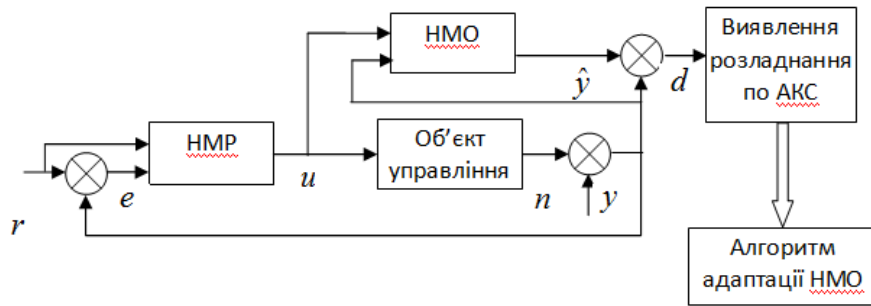


Рис. 3. Контур управління в стаціонарному режимі

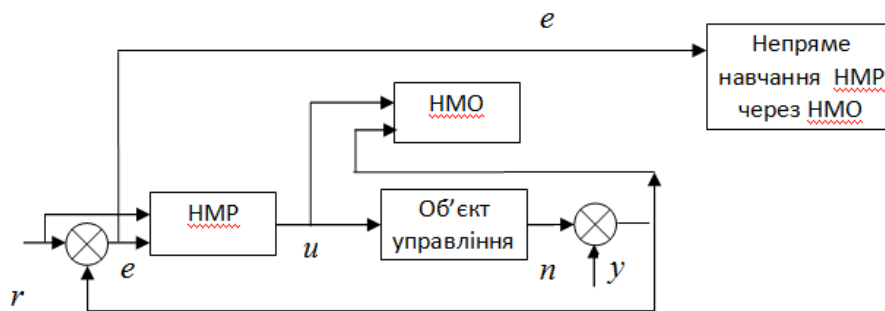


Рис. 4. Контур управління в режимі адаптації до розладнання

Задача визначення розладнання вирішується за допомогою алгоритму кумулятивних сум (АКС), причому для надійності виявлення розладнання береться парне спрацювання в межах розрахункового середнього часу запізнення [3, 7]. Підналаштування нейромережевої моделі об'єкту управління відбувається поза контуром управління способом. Для навчання нейронної мережі в цьому випадку необхідно підготувати навчальні дані в обсязі, достатньому для якісного передбачення поведінки об'єкту та навчання нейромережевого регулятора. Оскільки передбачається автоматичний характер процедури адаптації регулятора, необхідно сформулювати обґрунтований алгоритм збору даних.

Для своєчасного виявлення розладнання необхідне відповідне налаштування АКС. Для цього необхідно задати значення контролюючого параметру у вихідному стані (до розладнання), очікуване значення цього ж параметру при розладнанні (номінальне розладнання), а також вибрати поріг $H > 0$, який забезпечує бажані значення T_{ad} (середній час запізнювання) та T_{fa} (середній час між помилковими спрацюваннями).

В якості параметру, за яким добре визначається зміна параметрів об'єкту управління [9], використовується дисперсія помилки ідентифікації $d = y - \hat{y}$. За вихідне значення приймається дисперсія, визначена для стаціонарного режиму σ_0^2 , а за номінальне розладнання – її збільшення в задане число разів (наприклад, $K = 2$): $\sigma_1^2 = K\sigma_0^2$.

Для визначення розладнання за дисперсією випадкового процесу з нормальним розподілом доданки у рівнянні зображуючої точки АКС розраховуються за формулою:

$$z_i = -\frac{1}{2} \ln \frac{\sigma_1^2}{\sigma_0^2} - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_1^2} - \frac{1}{\sigma_0^2} \right) d_i^2 \quad (1)$$

В класичному АКС рівняння Що зображуючої точки в при виконанні елементарної перевірконої процедури має вигляд:

$$S_i = \begin{cases} 0, & i = 0 \\ \max(0; S_{i-1} + z_i), & i > 0 \end{cases} \quad (2)$$

Критерієм розладнання є

$$S_i > H \quad (3)$$

тобто, досягнення зображуючої точкою S_i вирішальної межі H . В цьому випадку розладнання вважається виявленим, елементарна перевірна процедура завершується та за необхідністю починається наступна перевірна процедура. Чим вищий поріг, тим більша затримка між фактичною зміною параметрів випадкового процесу та моментом виявлення розладнання. З іншого боку, невелике значення порогу призводить до росту випадків помилкового спрацювання випадковості процесу.

Налаштування АКС відбувається шляхом вибору H виходячи з деякого компромісу між значеннями T_{ad} та T_{fa} . З метою більш точної діагностики розладнання пропонується перевіряти її наявність шляхом повторного запуску АКС, при цьому розладнання вважається підтвердженим [7].

Після зміни характеристик об'єкту та підлаштування нейронних мереж може знадобитися корекція параметрів АКС, якщо, зокрема, змінилася дисперсія помилки ідентифікації, що характеризує новий стаціонарний стан.

Формування навчальної вибірки для налаштування НМО у випадку виявлення розладнання має свою специфіку, що проявляється у виборі довжини навчальної вибірки N та в способі її формування. Стандартний підхід використання навчальної вибірки постійної довжини в даному випадку недоцільний тому, що підлаштування НМО повинно проводитися кожен раз при появі сигналу про наявність розладнання.

Пропонується використовувати в якості результуючої вибірки елементи $\{u_k\}_N$ та $\{y_k\}_N$, що зафіксовані на інтервалі від початку запуску останньої контролюючої процедури АКС t_0 до моменту t_1 виробки сигналу про наявність розладнання (позначимо їх кількість M) плюс M аналогічних значень, що мали місце до моменту t_0 . Оскільки АКС дає сигнал розладнання з запізненням відносно моменту зміни параметрів процесу.

Довжина інтервалу $t_1 - t_0$ є випадковою величиною, в результаті буде отримана навчальна вибірка випадкової довжини $N = 2M$. Ця довжина визначає мінімальний розмір навчальної множини, доступної для налаштування нейромережевого ідентифікатору одразу ж після виявлення розладнання.

Висновки

Для усунення недоліків методу постійної адаптації запропоновано використовувати метод адаптації по виявленню розладнання. Цей підхід в стаціонарних умовах не передбачає змін нейронних мереж і його особливістю є наявність блоку виявлення змін властивостей об'єкту управління.

Запропоновано алгоритм що дозволяє динамічно сформувати навчальну множину для надійності нейромережевої апроксимації невідомої функції, що передбачає поведінку об'єкту управління. Ця навчальна множина використовується під час налаштування НМО поза контуром управління.

Список використаної літератури

1. Werbos P. J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. PhD Thesis, Harvard University, Cambridge, MA. – 1974.
2. Narendra K.S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamical system using neural networks // IEEE Trans. Neural Networks. – 1990. – Vol.1. – v1. – P. 4-27.
3. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В.Круглов, М.И.Дли, Р.Ю. Голунов. М., 2001.

4. Орловський І.А. Використання нейроконтролерів в електромеханічних системах / Орловський І.А., Горбань Є.І. // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2014. – № 1. – С. 177-188.
5. Головкин В. А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Нейрокомпьютеры и их применение. М.: ИПРЖР, 2001.
6. Комашинский В. И., Смирнов Д. А. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи. М.: Горячая линия–Телеком, 2003.
7. Кузнецов Б.И. Синтез нейросетевого регулятора NARMA-L2 CONTROLLER для системы наведения и стабилизации. / Кузнецов Б.И., Василец Т.Е., Варфоломеев А.А. // Електротехніка і Електромеханіка. – 2011. – № 4. – С.41-46.
8. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Карпенко Н.Ф. Многокритериальная оптимизация системы управления телекоммуникационными сетями // Зв'язок. – 1999. – № 6. – С. 13 – 16.
9. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проективання телекомунікаційних мереж Підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації». — К.: Техніка, 2002. — 792 с.

Автори статті

Толубко Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна.

Мельник Юрій Віталійович – кандидат технічних наук, с.н.с., завідувач кафедри Телекомунікаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Макаренко Анатолій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Tolubko Volodymyr Borysovych – sciences doctor (technic), professor, rector of the State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Melnyk Yuriy Vitaliyovych – candidate of science (technic), head of the Department of Telecommunication technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Makarenko Anatoliy Oleksandrovych – candidate of Science (technic), associate professor, associate professor of Department of Mobile and video information technologies, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 20.02.2018 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман