

Date: 23rd March-2025

УДК 681.051.125.7

НЕЙРОНЕЧЕТКИЙ АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Сиддиков И.Х., Алимова Г.Р., Измайлова Р.Н.

Ташкентский государственный технический университет

E-mail siddikov@mail.ru: Phone: (88) 700-52-68

E-mail: alimova250479@mail.ru, Phone: (97) 422-31-71

E-mail: verona781r@gmail.ru, Phone: (97) 722-32-15

Предложен адаптивный идентификатор для нейронечеткой системы управления нелинейным динамическим объектом, функционирующей в условиях неопределенности внутренних свойств и внешней среды. Разработан алгоритм параметрической идентификации в реальном времени, представляющей собой комбинацию алгоритма идентификации коэффициентов линейных управлений и метода теории интерактивной адаптации. Разработанная гибридная модель, построенная на основе нейронных сетей и нечетких моделей, позволяет повысить эффективность решение задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности.

Большинство динамических объектов функционирует в условиях неопределенности, которые характеризуются сложными и плохо изученными связями между технологическими переменными, наличием возмущающих и случайных помех, измеряемых с большой погрешностью. Кроме того, наличие нелинейных элементов затрудняет применение линейных алгоритмов адаптивного управления динамическими объектами в условиях неопределенности [1].

В настоящее время для управления такими объектами широко применяются нейронные и нечеткие регуляторы, основанные на теории нечеткой логики и нейронных сетей. Гибридное применение нейронной сети и нечеткой логики, в нейронечетких системах, реализующие их положительные свойства, дает высокую эффективность процесса управления [3.4].

В таких системах объект управления и регулятор описываются нечеткими адаптивными моделями, структура которой формируется на основании анализа технологических переменных и характера связей между ними с возможностью настройки на меняющиеся условия функционирования объекта.

В работе предлагается высокоэффективный способ к построению и обучению нейронечеткой системы управления, обладающая высокой способностью к адаптации.

Пусть динамика объекта управления представлена в виде нелинейного разностного управления:

$$y(i+1) = f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q)),$$

(1)



Date: 23rd March-2025

где $i = \overline{1, N}$ - текущее дискретное время; $y(i)$ - выходной сигнал:

$f(y(i), \dots, y(i-r), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), u(i), \dots, u(i-q))$ - некоторая нелинейная функция с известными порядками r, s, q .

Входные координаты объекта ограничены в любой момент времени, т.е.

$$u^{\min} \leq u(i) \leq u^{\max} \quad (2)$$

$$\bar{x}^{\min} \leq \bar{x}(i) \leq \bar{x}^{\max}, i = \overline{1, N}$$

Требуется построить систему управления динамическим объектом (1), которая обеспечивает минимум среднеквадратичной ошибки, при выполнении условий (2).

Для решения поставленной задачи будем использовать комбинированный принцип управления с адаптацией.

В этой системе для настройки параметров регулятора предлагается применение идентификатора. При этом идентификатор строится на основе нечеткой модели Сугено [5].

Динамическую модель идентификатора представим в виде:

$$\hat{y}(i+1) = f_{\theta}(u(i), \dots, u(i-q), \bar{x}(i), \dots, \bar{x}(i-s), y(i), \dots, y(i-r), \bar{c}_{\theta}), \quad (3)$$

имеющий порядки q, s, r , которую после формализации переменных

$$\bar{x}_{\theta}(i) = (x_{\theta 1}(i), \dots, x_{\theta m}(i)) = (u(i), \dots, x(i), \dots, y(i-r)) \quad (4)$$

представим в виде нечеткой модели Сугено

$$R_{\theta}^{\theta} : \text{если } x_{\theta 1}(i) \text{ есть } x_{\theta 1}^{\theta}, x_{\theta 2}^{\theta}(i) \text{ есть } x_{\theta 2}^{\theta}, \dots, x_{\theta m}(i) \text{ есть } x_{\theta m}^{\theta}, \\ \text{то } y^{\theta}(i+1) = b_{\theta 0}^{\theta} + b_{\theta 1}^{\theta} x_{\theta 1}(i) + \dots + b_{\theta m}^{\theta} x_{\theta m}(i), \theta = \overline{1, n'} \quad (5)$$

Здесь c - вектор параметров настройки идентификатора. Аналитическое выражение нечеткой идентификации имеет вид:

$$\hat{y}(i+1) = \sum_{\theta=1}^{n'} \beta_{\theta}^{\theta} \cdot y^{\theta}(i+1), \quad (6)$$

$$\text{где } \beta_{\theta}^{\theta} = \omega_{\theta}^{\theta}(i) / \sum_{\theta=1}^{n'} \omega_{\theta}^{\theta}(i);$$

$$\omega_{\theta}^{\theta}(i) = \prod_{j=1}^{m'} x_{\theta j}^{\theta}(x_{\theta j}(i)),$$

его векторное представление

$$\hat{y}(i+1) = \bar{b}_{\theta}^T \cdot \bar{x}_{\theta}(i), \quad (7)$$

а также алгоритм идентификации коэффициентов $\bar{b}_{\theta}(i)$



Date: 23rd March-2025

$$H_3(i) = H_3(i-1) - \frac{H_3(i-1) \cdot \bar{x}(i) \cdot \bar{x}_3^T(i) \cdot H_3(i-1)}{H \cdot \bar{x}_3^T(i) \cdot H_3(i-1) \cdot \bar{x}_3(i)}$$

$$\vec{b}_3(i) = \vec{b}_3(i-1) + H_3(i) \cdot \bar{x}_3(i) \cdot (y(i) - \vec{b}_3^T(i-1) \cdot \bar{x}_3(i)), \quad i = \overline{1, N},$$

(8)

где $\bar{x}_3(i) = (\beta_3'(i), \dots, \beta_3^n(i), \beta_3'(i) \cdot x_{31}(i), \dots, \beta_{3m'}^{n'}(i))^T$ - расширенный модифицированный входной вектор; $(\beta_{30}^1(i), \dots, \beta_{30}^{n'}(i), \beta_{31}(i), \dots, \beta_{3m'}(i), \dots, \beta_{3m'}^{n'}(i))^T$ - вектор настраиваемых параметров идентификатора. T - знак транспонирования.

Основной характеристикой, задающей нечеткое множество x является функция принадлежности $X_3(x_3)$, которая имеет вид сигмоиды:

$$X_3(x_3) = (1 + \exp(d_{31}(x_3 + d_{32})))^{-1}$$

Параметры функций принадлежности идентификатора

$$d_3 = (d_{31,l}^0, d_{32,l}^0), l = \overline{1, m'}, \quad \theta = \overline{1, n'},$$

определяется методом обратного распространения ошибки путем минимизации квадратичной невязки

$$E_3(i+1) = 0,5e_3^2(i+1) = 0,5(y(i+1) - y(\vec{d}_3, \bar{x}_3(i)))^2$$

градиентным спуском

$$d_3(\lambda+1) = d_3(\lambda) - h_3 \left(\frac{\partial E_3}{\partial d_3} \right),$$

где h_3 - параметр рабочего шага.

$$\frac{\partial E_3}{\partial d_{31l}} = (y - \hat{y}) \frac{(y^\theta - \omega_3^\theta \hat{y})}{\left(\sum_{j=1}^{n'} \omega_3^j \right)^2} \cdot \left(\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^{m'} x_{31}^\theta(x_{31}) \right) \left(1 - X_{31}^\theta(x_{31}) \right) (x_{31} + d_{32,l}^\theta),$$

$$\frac{\partial E_3}{\partial d_{32l}} = (y - \hat{y}) \frac{(y^\theta - \omega_3^\theta \hat{y})}{\left(\sum_{j=1}^{n'} \omega_3^j \right)^2} \cdot \left(\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^{m'} x_{31}^\theta(x_{31}) \right) \left(1 - X_{31}^\theta(x_{31}) \right) \cdot d_{32,l}^\theta, l = \overline{1, m'}, \theta = \overline{1, n'}$$

При структурной идентификации используется критерий, характеризующий средние относительные ошибки:

$$J_3 = \frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N (|y(i+1) - \hat{y}(i+1)| / y(i+1)) \leq J_3^H$$



Date: 23rd March-2025

где J_9 - средняя относительная ошибка идентификатора с допустимым значением

$$J_9^H.$$

или векторной форме

$$u_p(i) = \bar{b}_p^T \cdot \tilde{x}_p(i),$$

где

$$\tilde{x}_p^T(i) = [\beta_p'(i), \dots, \beta_p^{n''}(i), x_{p1}(i) \cdot \beta_p'(i), \dots, x_p(i) \cdot \beta_p^{n''}(i), x_{pm''}(i) \cdot \beta_p'(i), \dots, x_{pm''}(i) \cdot \beta_p^{n''}(i)]$$

расширенный входной вектор;

$$\beta_p^\theta(i) = \omega_p^\theta(i) / \sum_{\theta=1}^{n''} \omega_p^\theta(i) - \text{нечеткая функция}$$

Для придания адаптивных свойств нечеткому идентификатору, с целью обеспечения устойчивости динамической системы к возмущениям (изменениям параметров объекта управления и внешних воздействий), осуществлена оценка скорости изменения ошибки регулирования [6.7].

В ходе математического моделирования процесса управления установлено, что при использовании нечеткого регулятора наблюдается возникновение нечувствительности к изменению длительности переходного процесса, а кроме того, его применение позволяет улучшить показатели качества переходного процесса.

Предлагаемый подход к созданию нечеткого регулятора позволяет значительно сократить длительность цикла выработки и реализации управляющих воздействий в условиях неопределенности характера переходных процессов. Данный подход может быть рекомендован при создании системы управления технологическими объектами функционирующими в условиях неполноты или недостоверности информации о параметрах объекта управления.

Заключение

В работе предложена адаптивная нейронечеткая система управления нелинейным динамическим объектом, содержащая идентификатор и регулятор, построенные на основе нечеткой модели Сугено. Разработаны алгоритмы структурной и параметрической идентификации, которые наряду с методом интерактивной применялись для адаптации моделей. Предложено объединение положительных свойств нейронных сетей и нечетких моделей, позволяющее эффективно решать задачи управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Битус Е.И. Компьютерное моделирование и оптимизация процессов формирования гребенной ленты в шерстопрядении / Е. И. Битус. - Москва: Знание, 2017. - 238 с. : ил.



Date: 23rd March-2025

2. И.Х.Сиддиков, Д.А.Халматов, Г.Р.Алимова. Адаптивно-нечеткая система автоматической регуляции вытяжкой ленты//Текстильный журнал Узбекистана. 2020. №1. С.77-84
3. Омату С. Халид М.. Юсоф Р. Нейроуправление и его приложения Книга 2. М.: ИПРЖР. 2000.
4. D.A.Khalmatov, U.O.Khuzhanazarov, G.R.Alimova, J.M.Murodov. (2021) Adaptive fuzzy control system for multi-dimensional dynamic object under the conditions of uncertainty of information, International journal of advanced research in science, engineering and technology vol. 8, issue 2 , february 2021. pp.16608-16612.
5. И.Х.Сиддиков, Д.А.Халматов, Г.Р.Алимова, У.О.Хужаназаров. «Синтез наблюдателей состояния линейных объектов с упругими свойствами». «Ўзбекистон тўқимачилик журнали» 2021 й. №1. С:-
6. I.Kh.Siddikov, D.A.Khalmatov, G.R.Alimova Algorithm for synthesizing the y system managing a two-mass elastic dynamic object. «Кимёвий технология. Назорат ва бошқарув» 2021 й. 4-сони 65-73 р.
7. Г.Р.Алимова Алгоритм оценки эффективности обучения нейро-нечеткой гибридной сети» ТАТУ хабарлари 2021 й. 3-сони 59-63 ст.

