

УДК 62-55:681.515

А.Л. Ткаченко

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації ДУТ, Київ

## МОДИФІКОВАНИЙ СПОСІБ ЗНАХОДЖЕННЯ ЧІТКОГО ЗНАЧЕННЯ ВИХІДНОЇ ЗМІННОЇ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ОКРЕМОГО ТИПУ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Отримані аналітичні вирази для управляючих дій на виході нечіткого регулятора при вихідних роз'єднаних на відрізок  $1-2a$  трикутних функціях приналежності і викладені питання проектування нечіткого регулятора.

**Ключові слова:** нечіткий регулятор, функція приналежності, універсальна множина, вихідна змінна, алгоритм.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Актуальність технології нечіткого моделювання обумовлена тенденцією збільшення складності математичних моделей реальних систем. Традиційні методи побудови моделей не приводять до задовільних результатів, коли початковий опис, що підлягає вирішенню проблеми, свідомо є неточним і неповним. Прагнення отримати вичерпну інформацію для побудови математичної моделі складної реальної системи часто в принципі неможливе. У цих випадках доцільно використовувати методи спеціально орієнтовані на побудову моделей, що враховують неповноту і неточність початкових даних. Саме у таких ситуаціях технологія нечіткого моделювання виявляється найбільш конструктивною [1].

**Аналіз літератури.** В роботі [2] був викладений новий спосіб проектування нечітких регуляторів (НР) структурна схема яких складається з трьох блоків (рис. 1): блоку формування величин  $A(t)$  і  $B(t)$  (блок 1), блоку порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  і розрахунку  $u_c$  (блок 2) і блоку нормування вихідної змінної (блок 3).

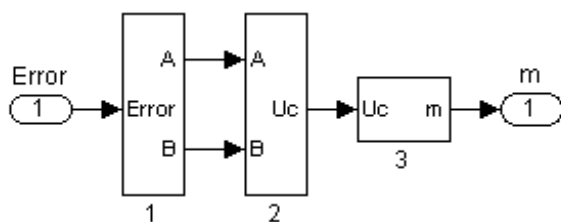


Рис. 1. Структурна схема нечіткого регулятора в інтерактивній системі MATLAB

В даній роботі, на основі викладеного способу, проектується нечіткий регулятор, в якому блок порівняння відрізняється простотою і, головне, може використовуватися з різними формуваннями. Розроблені раніше способи проектування нечіткого регулятора мали змінну структуру – при  $A < B$  та при  $A > B$  абсциса „центру тяжіння результуючої фігури” об-

числювалась за формулами, які відрізнялись, що спричиняло складність побудови НР. Даний тип нечіткого регулятора звільнений від цього недоліку. Модифікований спосіб моделювання НР полягає у суттєвому спрощенні виведення загальної формули для нечіткого виводу, що дозволяє значно спростити обчислення абсциси „центру тяжіння результуючої фігури”.

### Викладення основного матеріалу

Розглянемо на універсальній множині  $U = [0, 1]$  дві нечіткі підмножини з вихідними роз'єднаними на відрізок  $1-2a$  трикутними функціями приналежності (рис. 2), які визначаються за формулами (1).

$$\begin{cases} \mu_1(u) = 1 - \frac{u}{a}, & 0 \leq u \leq a; \\ \mu_2(u) = 1 + \frac{u-1}{a}, & 1-a \leq u \leq 1. \end{cases} \quad (1)$$

Допустимо, що з виходу формування величин  $A(t)$  і  $B(t)$  в нечіткому регуляторі на блок порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  та розрахунку  $u_c$  з такими функціями приналежності у фіксований момент часу  $t_0$  поступають величини  $A(t_0) \equiv A$  і  $B(t_0) \equiv B$ , показано на рис. 2.

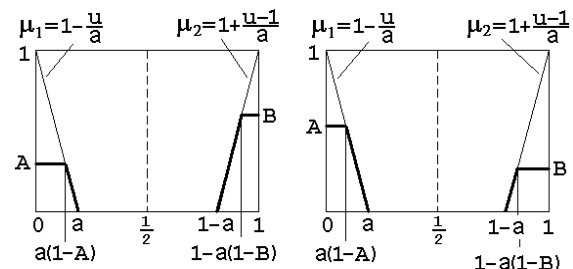


Рис. 2. Вихідні роз'єднані на відрізок  $1-2a$  трикутні функції приналежності

Загальна формула для визначення абсциси „центру тяжіння результуючої фігури” (ненормованого виходу регулятора) модифікованим способом записується у вигляді [3]:

$$u_c = \frac{\int_0^1 u \mu(u) du}{\int_0^1 \mu(u) du} = \frac{\frac{A}{2} \cdot x_1^2 + \frac{B}{2} \cdot (1 - x_2^2)}{A \cdot x_1 + B \cdot (1 - x_2)},$$

де  $x_1$  і  $x_2$  – абсиси точок перетину прямих  $A$  і  $B$  з відповідними функціями приналежності.

Абсциса „центру тяжіння результуючої фігури” з такими функціями приналежності визначається при  $A \geq B$  і при  $A \leq B$  по одній і тій же формулі:

$$u_c = \frac{a \left(1 - \frac{a}{2}\right) B + \frac{a^2}{2} \left(A - A^2 + \frac{A^3}{3}\right) - a(1-a) \frac{B^2}{2} - \frac{a^2}{6} B^3}{a(A+B) - a(A^2 + B^2)/2} \quad (2)$$

при  $A \geq B$  і при  $A \leq B$ .

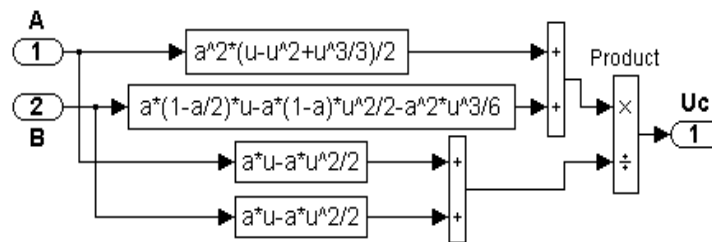


Рис. 3. Блок порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  та розрахунку  $u_c$  нечіткого регулятора в інтерактивній системі MATLAB

При конструюванні нечітких регуляторів на основі структурної схеми блок порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  та розрахунку  $u_c$  (блок 2 на рис. 1), може використовуватися з різними блоками формувачів величин  $A(t)$  і  $B(t)$  (блоками 1 на рис. 1).

Блоки формувачів величин  $A(t)$  і  $B(t)$  детально описані в [3].

Якщо для блоку порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  та розрахунку  $u_c$  (рис. 3) використовувати найбільш простий формувач величин  $A(t)$  і  $B(t)$  з вхідними трикутними функціями приналежності, то отримаємо вельми просту схему нечіткого регулятора в інтерактивній системі MATLAB (рис. 4).

На вхід нечіткого регулятора поступають похибки системи  $y$  (Error). Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) (Zero-Order Hold) квантує безперервну похибку системи управління  $y(t) = u(t) - x(t)$  з кроком квантування  $h$ .

У формувачі обчислюється перша і друга різниця від похибки за формулами:

$$\begin{cases} \dot{y}(k) = [y(k) - y(k-1)]/h; \\ \ddot{y}(k) = [\dot{y}(k) - \dot{y}(k-1)]/h, \end{cases}$$

де  $y(k)$  – квантована похибка на виході АЦП.

Елементами обмеження (Saturation) моделюємо універсальну множину  $U = [0, 1]$ , на яку поступають змінні  $u_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ . У блоках Fcn, Fcn1, Fcn2 запи-

семо аналітичні вирази для вхідних трикутних функцій приналежності  $m_1(u) = 1 - u$ , а в блоках Fcn3, Fcn4, Fcn5 – для функцій  $m_2(u) = u$ . На виході блоків Fcn, Fcn1, Fcn2 отримуємо змінні  $m_1(u_i)$  (відповідно  $m_1(u_1)$ ,  $m_1(u_2)$ ,  $m_1(u_3)$ ), а на виході блоків Fcn3, Fcn4, Fcn5 отримуємо змінні  $m_2(u_i)$  (відповідно  $m_2(u_1)$ ,  $m_2(u_2)$ ,  $m_2(u_3)$ ).

Логіка роботи нечіткого регулятора для фіксованого моменту часу відображена на рис. 5.

У формувачі величин  $A(t)$  і  $B(t)$  на вході нечіткого регулятора змінні похибки  $y^*$ , перша похідна похибки  $\dot{y}^*$  і друга похідна похибки  $\ddot{y}^*$ , що поступають в регулятор з кроком квантування  $h$ , перераховуються в змінні  $u_1^*$ ,  $u_2^*$ ,  $u_3^*$  за формулами (це формули для перерахунку значень сигналів в значення елементів єдиної універсальної множини  $U = [0, 1]$  при симетричних діапазонах зміни змінних)

$$\begin{cases} u_1^* = (y^* + A_m)/(2A_m); \\ u_2^* = (\dot{y}^* + B_m)/(2B_m); \\ u_3^* = (\ddot{y}^* + C_m)/(2C_m). \end{cases}$$

і проводиться розрахунок значень вхідних трикутних функцій приналежності (рис. 5, а, б)  $m_1(u) = 1 - u$ ;  $m_2(u) = u$ ;  $0 \leq u \leq 1$ , для змінних  $u_1^* - u_3^*$ .

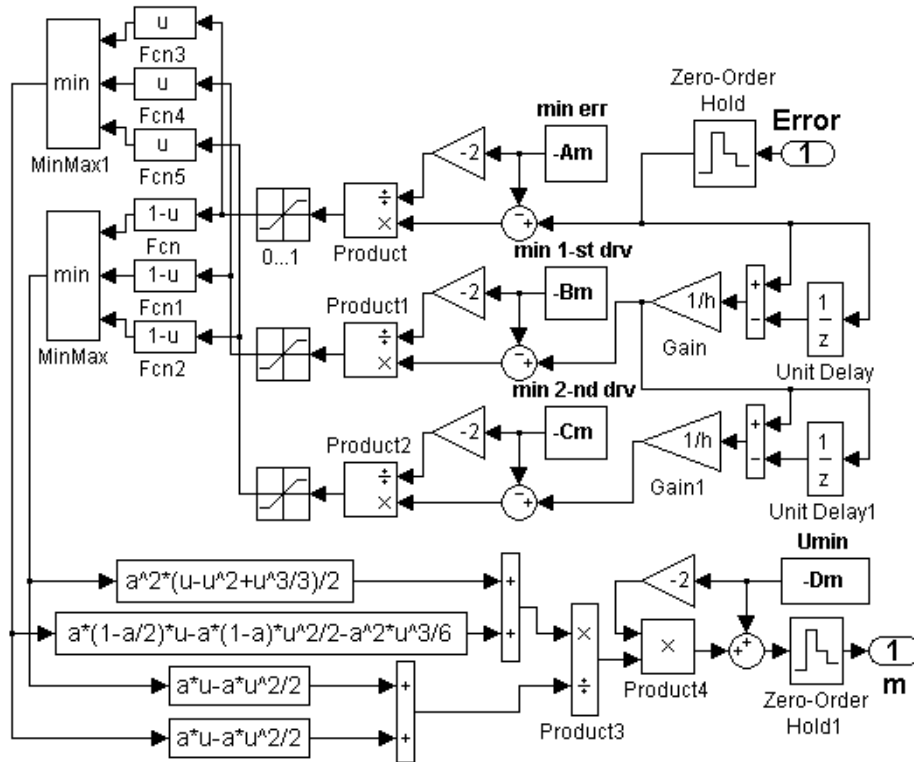


Рис. 4. Схема нечіткого регулятора в інтерактивній системі MATLAB

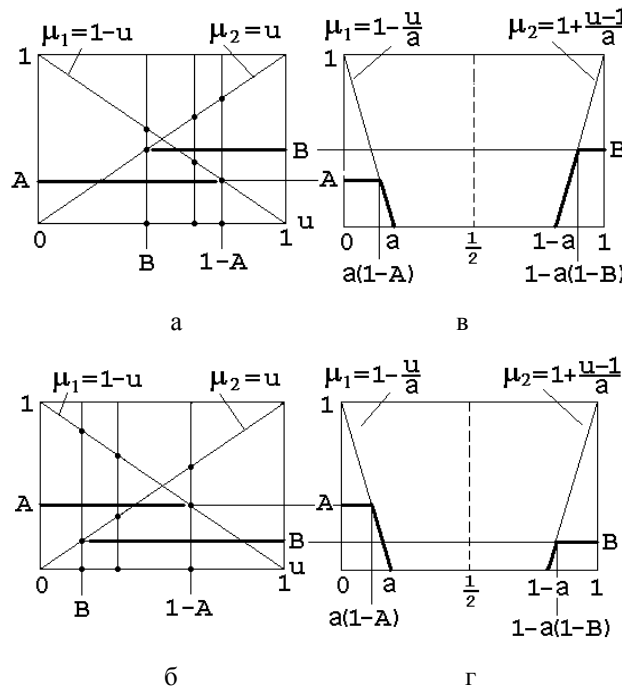


Рис. 5. Логіка роботи нечіткого регулятора для фіксованого моменту часу

За алгоритмом Мамдані визначаються величини  $A$  (у блоці MinMax) і  $B$  (у блоці MinMax1) за формулами:

$$A = \min[m_1(u_1^*), m_1(u_2^*), m_1(u_3^*)],$$

$$B = \min[m_2(u_1^*), m_2(u_2^*), m_2(u_3^*)].$$

Значення  $A$  і  $B$  відкладаються відповідним чином на вихідні функції приналежності (1) (рис. 5, в, г) і в блоці порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  та розра-

хунку  $u_c$  проводиться розрахунок ненормованого виходу регулятора за формулою (2). Далі набуте значення  $u_c$  в блоці нормування вихідної змінної перераховується у вихідну напругу регулятора за формулою  $m^* = m_{\min}(1 - 2u_c) = 2D_m u_c - D_m$ . Блок нормування детально описаний в [3]. Блок нормування вихідної змінної (блок 3 на рис. 1.) показаний на рис. 4 після блоку порівняння.

У динаміці при зміні змінних  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ ,  $u_3(t)$  поточні величини  $A(t)$  і  $B(t)$  поступають в блок порівняння і розраховане на кожному кроці  $h$  значення  $u_c(t)$  в блоці нормування вихідної змінної перетворюється у вихідну напругу  $m(t)$  за формулою  $m(t) = m_{\min}[1 - 2u_c(t)]$ . У схемі формувача величин  $A(t)$  і  $B(t)$  при настройці нечіткого регулятора пере-строюються граничні значення діапазонів

$$A_m = i_{\max} = -i_{\min},$$

$$B_m = \dot{i}_{\max} = -\dot{i}_{\min},$$

$$C_m = \ddot{i}_{\max} = -\ddot{i}_{\min}.$$

У блоці нормування вихідної змінної пере-строюються граничні значення діапазону  $D_m = m_{\max} = -m_{\min}$ .

Коефіцієнт  $a$  у вихідних функціях приналежності задається постійним і вибирається з умови:  $0 < a \leq 0,5$ .

## Висновки

Таким чином, викладені теоретичні положення і практична схема нечіткого регулятора з вихідними роз'єднаними на відрізок  $1 - 2a$  трикутними функціями приналежності і вхідними трикутними функціями приналежності дають можливість використовувати такий регулятор в різних системах автоматичного управління, зокрема в електронних радіотехнічних системах, і шляхом настройки параметрів регулятора добиватися високої якості систем. Модифікований спосіб моделювання НР дозволяє значно спростити обчислення абсциси „центру тяжіння результуючої фігури”.

## Список літератури

1. Леоненков А.В. *Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH* / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736 с.
2. Гостев В.И. *Новый метод проектирования одноклассного нечетких цифровых регуляторов* / В.И. Гостев // *Проблемы управления и информатики*. – 2007. – № 6. – С. 73 – 84.

3. Гостев В.И. *Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления* / В.И. Гостев. – К.: Радиоа-матор, 2008. – 971 с.

4. Алтунин А.Е. *Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография* / А.Е. Алтунин, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.

5. Гостев В.И. *Неоднозначность настройки нечетких цифровых регуляторов в системах автоматического управления* / В.И. Гостев, О.В. Ананьин, Г.Я. Криховецкий // *Вісник технологічного університету Поділля (Хмельницький державний університет)*. – 2004. – № 2, Ч. 1, Т. 1 (60). – С. 43 – 46.

6. Гостев В.И. *Система автоматического регулирования мощности передатчика в канале мобильной радиосвязи* / В.И. Гостев, Н.И. Кунах // *Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань*. – 2006. – № 1. – С. 78 – 82.

7. Гостев В.И. *Определение управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при идентичных сжатых треугольных функциях принадлежности* / В.И. Гостев, В.В. Крайнев, А.Л. Ткаченко // *Зв'язок*. – 2007. – № 7 (75). – С. 57 – 59.

8. Круглов В.В. *Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода* / В.В. Круглов, М.И. Длин-М.: Физматлит, 2002. – 238 с.

9. Кунах Н.И. *Редукция математических моделей систем автоматического регулирования потужності передавача в адаптивних каналах радіозв'язку* / Н.И. Кунах // *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. – 2007. – Т.5, № 1. – С. 63 – 67.

10. Наритник Т.М. *Радіорелейні та тропосферні системи передачі: Навч. пос.* / Т.М. Наритник, В.М. Почерняев, Ю.В. Уткін. – Полтава: Вид-во ПВІЗ, 2008. – 695 с.

11. Олссон Г. *Цифровые системы автоматизации и управления* / Г. Олссон, Дж. Пиани. – СПб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.

12. Kosko B. *Fuzzy systems universal approximators* / B. Kosko // *Transactions on Computers*, vol. 43, No. 11, November 2007. – P. 1329 – 1333.

13. *Wireless communications: Past Events and a Future Perspective* / Teodor S. Rappaport, A. Annaulalai, R.M. Buehrer, William H. Tranter // *IEEE Communication magazine*, May 2002. – P. 148 – 161.

Надійшла до редколегії 14.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.І. Гостев, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СПОСОБ НАХОЖДЕНИЯ ЧЕТКОГО ЗНАЧЕНИЯ ВЫХОДНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОТДЕЛЬНОГО ТИПА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

А.Л. Ткаченко

Получены аналитические выражения для управляющих воздействий на выходе нечеткого регулятора при выходных разьединенных на отрезок  $1-2a$  треугольных функциях принадлежности и изложены вопросы проектирования нечеткого регулятора.

**Ключевые слова:** нечеткий регулятор, функция принадлежности, универсальное множество, выходная переменная, алгоритм.

## METHOD OF FINDING OF CLEAR INITIAL VARIABLE VALUE IS MODIFIED AT DESIGN OF SEPARATE TYPE FUZZY CONTROLLER

A.L. Tkachenko

Analytical expressions for controlling actions on an output of a fuzzy controller are received at days off separated on a piece  $1-2a$  triangular membership functions and questions of designing of a fuzzy controller are stated.

**Keywords:** fuzzy controller, function of belonging, universal plural, initial variable, algorithm.