

Шушура О. М. *Державний університет телекомунікацій, Київ*

### ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ З НЕЛІНІЙНИМИ ОБМЕЖЕННЯМИ

*Запропоновано метод побудови інформаційних технологій для вирішення завдань нечіткого управління складними системами з нелінійними обмеженнями. Зформована концепція інфологічного моделювання задачі нечіткого управління з обмеженнями на значення керуючих змінних, формалізована математична постановка задачі та розроблені етапи проведення нечіткого логічного виведення для її вирішення.*

**Ключові слова:** *складна система, нечітке управління, нелінійні обмеження, інформаційна технологія, функція належності багатьох змінних.*

Shushura O. M. *State University of Telecommunications, Kyiv*

### INFORMATION TECHNOLOGY FOR AUTOMATION OF FUZZY CONTROL WITH NON-LINEAR CONSTRAINTS

*Existing information technologies of fuzzy control are based on fuzzy logic that uses the membership function of one argument and considers the control problem without constraints, covering several control variables. Fuzzy control of complex systems with the presence of non-linear constraints on control variables can be realized based on the use of fuzzy logic with the membership function of several arguments. The article proposes a method for constructing information technologies for solving problems of fuzzy control of complex systems with non-linear constraints. The concept of the infologic modeling of the problem of fuzzy control with constraints is proposed, the mathematical formulation of the problem is formalized and the stages of conducting fuzzy inference for solving it are developed. The concept of infologic modeling of the subject area of the problem of fuzzy control with constraints involves the construction of a conceptual model of the problem of fuzzy control, a model of linguistic variables, a model of the structure of fuzzy inference rules. On the basis of the conceptual model, the mathematical formulation of the management problem is formalized in the form of a set of fuzzy product rules and a system of fuzzy nonlinear constraints represented by the membership function of several arguments. The procedure of fuzzy inference is proposed, which contains the stages of fuzzification, aggregation, activation, accumulation and defuzzification. At the accumulation stage, non-linear constraints are taken into account. In case of defuzzification, the required values of control variables of information technology are calculated. The results of the work can be used to develop information technologies that automate the management of systems with constraints on the values of control variables.*

**Keywords:** *complex system, fuzzy control, non-linear constraints, information technology, membership function of several arguments*

Шушура А. Н. *Государственный университет телекоммуникаций, Киев*

### ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

*Предложен метод построения информационных технологий для решения задач нечеткого управления сложными системами с нелинейными ограничениями. Сформирована концепция инфологического моделирования задачи нечеткого управления с ограничениями на значения управляющих переменных, формализована математическая постановка задачи и разработаны этапы проведения нечеткого логического вывода для ее решения.*

**Ключевые слова:** *сложная система, нечеткое управление, нелинейные ограничения, информационная технология, функция принадлежности многих аргументов*

© Шушура О. М., 2018

## 1. Вступ

Існуючі інформаційні технології нечіткого управління опираються на нечітку логіку, яка використовує функції належності одного аргументу і розглядають задачу управління без обмежень, що охоплюють кілька керуючих змінних. Основи нечіткого моделювання та управління закладені в роботах Л. Заде, Е. Мамдані, М. Сугено, Т. Терано, А. Кофмана, Р. Ягера і ін. [1, 2]. Питанням побудови систем управління на основі нечіткої логіки приділено багато уваги в працях А. П. Ротштейна, А. В. Леоненкова, В. І. Гостєва [3-5].

Однак в практиці управління складними системами досить часто зустрічаються завдання, в яких керуючі змінні нелінійно пов'язані між собою набором обмежень. Вирішення даної проблеми може бути здійснене на основі побудови метода нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох аргументів для термів лінгвістичних змінних.

*Метою роботи є розробка методу побудови інформаційних технологій для вирішення завдань нечіткого управління, що містять систему нелінійних обмежень на керуючі змінні. Для досягнення поставленої мети запропонована концепція інфологічного моделювання системи нечіткого управління з обмеженнями, формалізована математична постановка задачі управління та розроблені етапи проведення нечіткого логічного виведення для її вирішення.*

## 2. Концептуальна модель задачі нечіткого управління

Концепція інфологічного моделювання предметної області задачі нечіткого управління з нелінійними обмеженнями передбачає побудову діаграм:

- концептуальна модель задачі нечіткого управління;
- модель лінгвістичних змінних;
- модель структури правил нечіткого виводу.

Концептуальна модель задачі нечіткого управління подається у вигляді діаграми, що містить графічне представлення звичайних вхідних та вихідних змінних блоку нечіткого управління, відповідних їм лінгвістичних вхідних та вихідних змінних, а також опис обмежень задачі.

Детальний опис структури та характеристик кожної лінгвістичної змінної здійснюється у її графічній моделі, зображеній у вигляді фрейму з інформаційними полями, що відповідають класичному визначенню лінгвістичної змінної. В моделі вказується назва лінгвістичної змінної та позначається, чи є вона вхідною або вихідною змінною. Наводяться назви звичайних змінних, яким поставлена у відповідність дана лінгвістична змінна, а також їх області допустимих значень, тим самим визначаючи універсальну множину лінгвістичної змінної. Перераховуються елементи множини термів лінгвістичної змінної та надається характеристика їх функцій належності.

Модель структури правил нечіткого виводу відображає зв'язок між антецедентами та консеквентами правил, представлених у вигляді логічних виразів зі значеннями лінгвістичних змінних.

На основі інфологічної моделі предметної області формується узагальнена математична постановка задачі нечіткого управління з обмеженнями на керуючі змінні.

На основі виділених вхідних  $\bar{X}$  і вихідних (керуючих)  $\bar{U}$  змінних пристрою управління формуються множини вхідних та вихідних лінгвістичних змінних  $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$  та  $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  відповідно.

Вхідні змінні  $\bar{X}$  розбиваються на підмножини  $\bar{x}_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , які відповідають кожній вхідній лінгвістичній змінній  $\alpha_i$ :  $\alpha_i \rightarrow \bar{x}_i$ .

Відповідно до класичного визначення [4], вхідна лінгвістична змінна  $\alpha_i$  представляється як кортеж:

$$\langle \alpha_i, T_i, D_i, S_i, M_i \rangle,$$

де  $\alpha_i$  – назва  $i$ -ої змінної;

$T_i$  – множина термів  $i$ -ої лінгвістичної змінної, яка визначається як

$$T_i = \{t\alpha_{i1}, t\alpha_{i2}, \dots, t\alpha_{iK_i}\};$$

$D_i$  – множина можливих значень змінних  $\bar{x}_i$ ;

$S_i$  – синтаксична процедура, що визначає формування нових термів;

$M_i$  – семантична процедура, що завдає функції належності для нових термів, що генеруються процедурою  $S_i$ .

Для кожного терму  $t\alpha_{ik}$  у загальному випадку формується функція належності багатьох аргументів (ФНБА)  $\mu_{ik}^\alpha(\bar{x}_i)$ , яка задана на універсальній множині  $D_i$ .

Вихідна лінгвістична змінна  $\beta_j$  формалізується аналогічним чином.

Модель нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів в узагальненому вигляді можна представити як множину правил нечітких продукційних правил  $\{R_1, R_2, \dots, R_p\}$ , що у спрощеному вигляді представляються як:

**RULE  $R_q$ :**

$$\text{IF } condition_q \text{ THEN } conclusion_q, (F_q) \quad (1)$$

де  $condition_q$  та  $conclusion_q$  – відповідно антецедент та консеквент правила у вигляді нечіткого логічного висловлювання;

$F_q$  – ваговий коефіцієнт правила, що приймає значення з діапазону  $(0,1]$ .

Антецедент правил типу (1) складається з одного або кількох елементарних нечітких висловлювань  $SA_{lq}^{ik}$  виду:

$$SA_{lq}^{ik} : \alpha_i \text{ IS } t\alpha_{ik},$$

де  $l$  – номер елементарного нечіткого висловлювання у антецеденті правила  $R_q$ ,  $l = \overline{1, N_q}$ .

Аналогічно консеквент правила складається з одного або кількох елементарних нечітких висловлювань  $SC_{rq}^{jz}$  виду:

$$SC_{rq}^{jz} : \beta_j \text{ IS } t\beta_{jz},$$

де  $r$  – номер елементарного нечіткого висловлювання у консеквенті правила  $R_q$ ,  $r = \overline{1, M_q}$ ;

$t\beta_{jz}$  – терм лінгвістичної змінної  $\beta_j$ .

З метою спрощення розрахунків під час нечіткого виведення у антецеденті та консеквенті правил виду (1) будемо використовувати лише нечітку кон'юнкцію, що реалізується за одним з варіантів  $t$ -норми.

Обмеження задачі нечіткого управління представляються у вигляді системи функцій належності багатьох змінних:

$$\bar{G}(\bar{X}, \bar{U}).$$

### 3. Процедури нечіткого виведення

Для формування керуючих впливів  $\bar{U}_o$  інформаційної технології нечіткого управління з використанням функцій належності багатьох змінних розроблено етапи процедури нечіткого виведення, до яких входять фазифікація, агрегування, активізація, акумуляція, дефазифікація [6].

Процедура фазифікації полягає в розрахунку ступенів істинності  $W_{lq}$  нечітких висловлювань  $SA_{lq}^{ik}$  антецедентів правил на основі значень функцій належності відповідних термів вхідних лінгвістичних змінних для заданого набору значень вхідних змінних  $\bar{x}_i^0$ :

$$W_{lq} = \mu_{ik}^{\alpha}(\bar{x}_i^0).$$

Агрегування являє собою процедуру визначення ступеню істинності умов  $W_q$  за кожним правилом системи нечіткого виведення  $R_q$ , для чого використовується один з варіантів  $t$ -норми. Наприклад, агрегування може відбуватися за формулою:

$$W_q = \min_l W_{lq}.$$

На етапі активізації відбувається обмеження значення функції належності кожного з нечітких висловлювань консеквентів правил за допомогою  $\min$ -активізації,  $prod$ -активізації чи  $average$ -активізації. Наприклад, при використанні  $min$ -активізації розрахунки відбуваються за формулою:

$$\mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j) = \min\{W_q \cdot F_q, \mu_{jz}^{\beta}(\bar{u}_j)\},$$

де  $\mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j)$  – функція належності терму  $t\beta_{jz}$  вихідної змінної  $\beta_j$  у нечіткому висловлюванні  $SC_{rq}^{jz}$ .

На етапі акумуляції відбувається об'єднання функцій належності нечітких висловлювань консеквентів, а також враховуються обмеження на керуючі змінні для отримання функції належності кожної вихідної лінгвістичної змінної. Об'єднання функцій належності виконується з застосуванням одного з варіантів  $s$ -норми. Для розрахунків у загальному випадку може бути використана формула:

$$\mu^*(\bar{U}) = \left( \bigcup_{q=1}^p \bigcup_{r=1}^{M_q} \bigcup_{j=1}^m \bigcup_{z=1}^{Z_j} \mu_{rq}^{jz}(\bar{u}_j) \right) \bigcap_{b=1}^{N^g} g_b(\bar{X}^0, \bar{U}),$$

де  $p$  – кількість правил, що входять до бази знань;

$Z_j$  – кількість термів вихідної лінгвістичної змінної  $\beta_j$ ;

$N^g$  – кількість обмежень в задачі управління;

$\bar{X}^0$  – значення вхідних змінних, що надійшли до пристрою керування.

Дефазифікація полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати звичайне кількісне значення кожної з вихідних керуючих змінних. Для функцій належності багатьох аргументів формула дефазифікації ґрунтується на ідеї методу центру тяжіння:

$$u_j^o = \frac{\iint_V \dots \int u_j \cdot \mu^*(\bar{U}) dV}{\iint_V \dots \int \mu^*(\bar{U}) dV},$$

де  $u_j^o$  – значення  $j$ -ої керуючої змінної;

$V$  – область можливих значень керуючих змінних  $\bar{U}$ .

**4. Висновки.** В роботі наведена концепція інфологічного моделювання та формалізована задача нечіткого управління з нелінійними обмеженнями, запропонований метод її вирішення на основі застосування функцій належності кількох аргументів. Результати роботи можуть бути використані для розробки інформаційних технологій, що автоматизують управління системами при наявності обмежень на значення керуючих змінних.

#### Список використаної літератури

1. Mamdani E. H. An experiment in linguistic thesis with a fuzzy logic controller / E. H. Mamdani, S. Assilian // *International journal of man-machine studies*. – 1975. – Vol. 7. – № 1. – PP. 1-13.
2. Zadeh L. A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // *Information and control*. – 1965. – Vol. 8. – P. 338-353.
3. Гостев В. И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления / В. И. Гостев. – Ніжин: «Аспект-Поліграф», 2009. – 416 с.
4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леоненков. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
5. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 1999. – 320 с.
6. Шушура А. Н. Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности / А. Н. Шушура, И. А. Тарасова // *Штучний інтелект*. – 2010. – №1. – С. 122-128.

#### References (MLA)

1. Mamdani E. H., and Assilian S. "An Experiment in Linguistic Yn Thesis With A Fuzzy Logic Controller." *International Journal of Man-Machine Studies* 7(1) (1975): 1-13. Print.
2. Zadeh L. A. "Fuzzy Sets." *Information and Control* 8 (1965): 338-353. Print.
3. Hostev V. I. *Designing Fuzzy Controls for Automatic Control Systems*. Nizhyn: Aspekt-Polihraf, 2009. Print.
4. Leonenkov A. V. *Fuzzy Modeling in the Environment of MATLAB and FuzzyTECH*. Sankt-Peterburg: BKhV- Peterburh, 2005. Print.
5. Rotshtein A. P. *Intellectual Identification Technologies: Fuzzy Logic, Genetic Algorithms, Neural Networks*. Vinnytsia: Universum-Vinnytsia, 1999. Print.
6. Shushura A. N., and Tarasova I. A. "A Method of Fuzzy Control Based on Variables with Multidimensional Membership Functions." *Shtuchnyi intelekt* 1 (2010): 122-128. Print.

#### Автор статті

**Шушура Олексій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри системного аналізу, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (50) 470 1567. E-mail: leshu@i.ua.

#### Author of the article

**Shushura Oleksii Mykolaiovych** – candidate of sciences (technical), associate professor, head of the system analysis department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel: + 380 (50) 470 1567. E-mail: leshu@i.ua.

Дата надходження  
в редакцію: 14.03.2018 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор К. С. Козелкова  
*Державний університет телекомунікацій, Київ*