

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

Е. А. Лосев

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИНТЕЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ КОНКРЕТНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена методика расчета помехоустойчивости синтезированного алгоритма для конкретных систем при использовании многопозиционных сигналов.

Предложенный алгоритм когерентной обработки многопозиционных АФМ сигналов особенно удобен для многоканальных (многочастотных) систем с ортогональными канальными сигналами, так как в этих системах для разделения ортогональных сигналов используются известные процедуры вычисления проекций принятого сигнала на два взаимно ортогональных опорных колебания с произвольной начальной фазой.

Активное становление цифровых сетей в качестве альтернативы существующим аналоговым каналам связи имеет целью обеспечение технико-технологического развития телекоммуникаций. Статья посвящена исследованию и разработке методов оптимального приема многопозиционных сигналов демодуляторами многоканальных модемов, которые способствуют улучшению показателей качества передачи информации в цифровой форме по каналам связи различных типов.

Ключевые слова: помехоустойчивость систем; многопозиционные сигналы; ансамбли дискретных сигналов; ансамбли двумерных сигналов; отношение сигнал/шум; коэффициент помехоустойчивости; равновероятные сигналы; вероятность ошибки.

Е. О. Losev

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING THE NOISE IMMUNITY OF A SYNTHESIZED ALGORITHM FOR SPECIFIC INFORMATION SYSTEMS

In the article the method of calculation of noise immunity of the synthesized algorithm for the concrete systems at use of multiposition signals is considered.

The proposed algorithm for coherent processing of multiposition AFMs or signals is particularly suitable for multi-channel (multi-frequency) systems with orthogonal channel signals, because in these systems, the same procedures for calculating the projections of the received signal into two mutually orthogonal reference oscillations with an arbitrary initial phase are used in these systems for the orthogonal signal section.

Perspective of the active formation of digital networks as an alternative to existing analogue communication channels, in order to ensure the technical and technological development of telecommunications. This article is devoted to the research and development of methods for optimal reception of multiposition signals by demodulators of multichannel modems, which contribute to improving the quality of information transmission in digital form by communication channels of various types.

Keywords: noise immunity systems; multiposition signals; discrete signaling ensembles; two-dimensional signaling ensembles; signal/noise ratio; noise immunity coefficient; probabilistic signals; error probability.

УДК 004.94

О. М. ШУШУРА, канд. техн. наук, доцент,
Державний університет телекомунікацій, Київ

Структури даних інформаційної технології нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів

Проблема управління системами зі складною структурою зв'язків між характеристиками може бути розв'язана за рахунок розробки інформаційних технологій за допомогою апарату нечіткої логіки з використанням функцій належності багатьох аргументів. У статті наведено структуру правил нечіткого виводу на основі зазначених функцій належності. Для подання цих правил в інформаційних системах розроблено відповідні структури даних та алгоритми. Здобуті результати можуть бути використані при розробці інформаційних технологій для автоматизації завдань керування складними системами.

Ключові слова: інформаційна технологія; структура даних; нечітке управління; функція належності багатьох змінних.

Постановка проблеми

Розширення сфери використання інфокомунікаційних систем та кола задач, розв'язуваних за їх допомогою, вимагає постійного вдосконалення методологічних основ побудови інформаційних технологій. Один з актуальних напрямків застосування інформаційних технологій полягає в їх за-

лученні до розв'язання задач автоматизації керування системами зі складною структурою зв'язків між характеристиками, яка важко піддається формалізації. Для розв'язання задач такого типу є сенс використовувати інформаційні технології на основі нечіткого логічного виводу із залученням функцій належності багатьох аргументів (ФНБА) [1].

© О. М. Шушура, 2018

Реалізація інформаційних технологій для нечіткого логічного виводу на базі ФНБА вимагає розробки відповідних структур даних та алгоритмів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблематиці стосовно методології нечіткого моделювання а також технології розв'язання практичних завдань управління присвячено праці таких учених, як Л. Заде, Е. Мамдані, А. В. Леоненков, С. Д. Штовба, А. П. Ротштейн [2–6]. Існуючі методи нечіткого управління використовують як терми переважно нечіткі змінні з функціями належності *одного аргументу*. Завдяки цьому дістаємо просте і наочне подання функцій належності, маючи змогу застосовувати нескладні обчислювальні процедури на всіх етапах нечіткого виводу. Утім при цьому втрачається залежність між керуючими змінними, зумовлена наявністю обмежень на управління. Окрім того, лінгвістичні змінні можуть мати досить складну фізичну природу, а через це при визначенні їхніх значень доводиться використовувати кілька взаємозв'язаних величин.

Запропонований в [1] метод нечіткого управління на основі використання ФНБА потребує розробки відповідних структур даних для реалізації бази знань та процедур нечіткого виводу. Що ж до запропонованої в [7] узагальненої структури бази знань у вигляді діаграми класів, то вона не передбачає засобів подання ФНБА та потребує значної конкретизації з метою практичного її застосування при розробці інформаційних технологій.

Основна частина

Метою роботи є розробка структур даних і процедур їх обробки для побудови інформаційних технологій нечіткого управління складними системами з використанням ФНБА. Заради досягнення поставленої мети далі наведено формальну структуру моделі нечіткого управління на основі ФНБА, розроблено структури даних, побудовано узагальнену схему взаємозв'язку даних та алгоритми їх обробки для реалізації у відповідних інформаційних технологіях.

Узагальнену структуру моделі нечіткого управління на основі ФНБА зображено на рис. 1 [1], де використано такі позначення: \bar{X} — множина вхідних змінних ПУ; B — множина вхідних лінгвістичних змінних, що відповідає \bar{X} ; ПУ — пристрій нечіткого управління, що реалізує алгоритм управління; \bar{U}_o — множина вихідних (керуючих) змінних ПУ; W — множина вихідних лінгвістичних змінних, що відповідає \bar{U}_o .

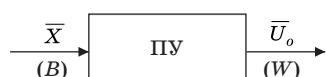


Рис. 1. Узагальнена схема нечіткого управління

У задачі управління в інформаційних технологіях на основі виділених вхідних (\bar{X}) і вихідних (\bar{U}_o) змінних пристрою управління ПУ формуються дві множини $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$ і $W = \{w_1, w_2, \dots, w_s\}$ — відповідно вхідних і вихідних лінгвістичних змінних.

Вхідні змінні \bar{X} розбиваються на підмножини $\bar{x}_l, l = \overline{1, m}$, які відповідають кожній вхідній лінгвістичній змінній $\beta_l: \bar{x}_l \rightarrow \beta_l$.

Вхідна лінгвістична змінна β_l визначається як кортеж

$$\langle \beta_l, T_l, E_l \rangle,$$

де β_l — назва l -ї змінної; T_l — терм-множина l -ї лінгвістичної змінної, яка містить назви нечітких змінних $\{\beta_{t_{l1}}, \beta_{t_{l2}}, \dots, \beta_{t_{lk}}\}$, кожна з яких являє собою кортеж

$$\langle \beta_{t_{lk}}, E_l, A_k^l \rangle,$$

де $\beta_{t_{lk}}$ — назва k -ї нечіткої змінної, що входить у терм-множину лінгвістичної змінної β_l ; A_k^l — нечітка множина з ФНБА $\mu_k^l(\bar{x}_l)$, задана на універсальній множині E_l .

Далі аналогічно визначено вихідну лінгвістичну змінну w_z .

Функції належності $\mu_k^l(\bar{x}_l)$ і $\mu_b^z(\bar{u}_z^o)$ термів лінгвістичних змінних β_l і w_z можуть бути заздалегідь відомі і задані аналітично або будуватися на основі статистичних даних.

Модель нечіткого управління на основі функцій належності багатьох аргументів в узагальненому вигляді можна подати як множину правил нечітких продукцій $P = \{R_1, R_2, \dots, R_p\}$ такого виду:

$$\text{Правило } R_r: \text{ЯКЩО } \bigcap_{i=1}^{N_r} \text{ПУ}_{ir}^{lk} \text{ ТО } \bigcap_{j=1}^{M_r} \text{ПЗ}_{jr}^{zb}, (K_{fr}), \quad (1)$$

де N_r, M_r — кількість відповідно антецедентів і консеквентів, що входять у правило r ; ПУ_{ir}^{lk} — i -та антецедента, що входить у правило r і являє собою нечітке висловлювання, котре складається з вхідної лінгвістичної змінної β_l та відповідного їй k -го терма; ПЗ_{jr}^{zb} — j -та консеквента, що входить у правило r , яке являє собою нечітке висловлювання, котре складається з вихідної лінгвістичної змінної w_z та відповідного їй b -го терма [1].

Антецеденти мають такий вигляд:

$$\text{ПУ}_{ir}^{lk}: \beta_l \in \beta_{t_{lk}}, \quad (2)$$

де β_l — назва l -ї вхідної лінгвістичної змінної; $\beta_{t_{lk}}$ — k -й терм вхідної лінгвістичної змінної β_l .

Консеквенти подаються в такий спосіб:

$$\text{ПЗ}_{jr}^{zb}: w_z \in wt_{zb}, \quad (3)$$

де w_z — назва z -ї вихідної лінгвістичної змінної; wt_{zb} — b -й терм вихідної лінгвістичної змінної w_z .

Для обробки інформації щодо наведеної моделі управління в інформаційних технологіях розроблено структури даних у вигляді таблиць, загальний вигляд яких і схему їхнього взаємозв'язку ілюструє рис. 2, з якого випливає, що до складу

структур даних інформаційної технології для формалізації бази нечітких продукцій виду (1) включено таблиці правил Rules та їх вагових коефіцієнтів RuleCoefficients. Правило може містити кілька антецедентів або консеквентів. У цьому разі в таблиці Rules формується кілька рядків з однаковим значенням ключа Rule_ID. Вважається, що в одному правилі антецеденти та консеквенти пов'язані між собою тільки операцією перетину.

Для збереження даних щодо антецедентів та консеквентів сформовано відповідні таблиці Antecedents та Consequents. Їхня структура в цілому однакова і відповідає вимогам формул (2) і (3). Зазначені таблиці пов'язані з таблицями термів вхідних і вихідних лінгвістичних змінних — від-

повідно InputTerms та OutputTerms, подібних між собою за структурою.

Структура таблиць термів InputTerms і OutputTerms містить ключ терма, його назву, а також посилання на відповідну лінгвістичну змінну та зв'язок із функцією належності терма. Таблиця функцій належностей MembFuncs містить код функції, її тип (для аналітично заданих стандартних функцій) і масив значень параметрів. Якщо вигляд функції належності нестандартний, то може бути вказано ім'я файла, якому належить програмний код для розрахунку її значень. Розрахунок значень функцій належності ґрунтується на зв'язку лінгвістичних змінних із вхідними та вихідними змінними, заданому за допомогою таблиць MatchInputs і MatchOutput.

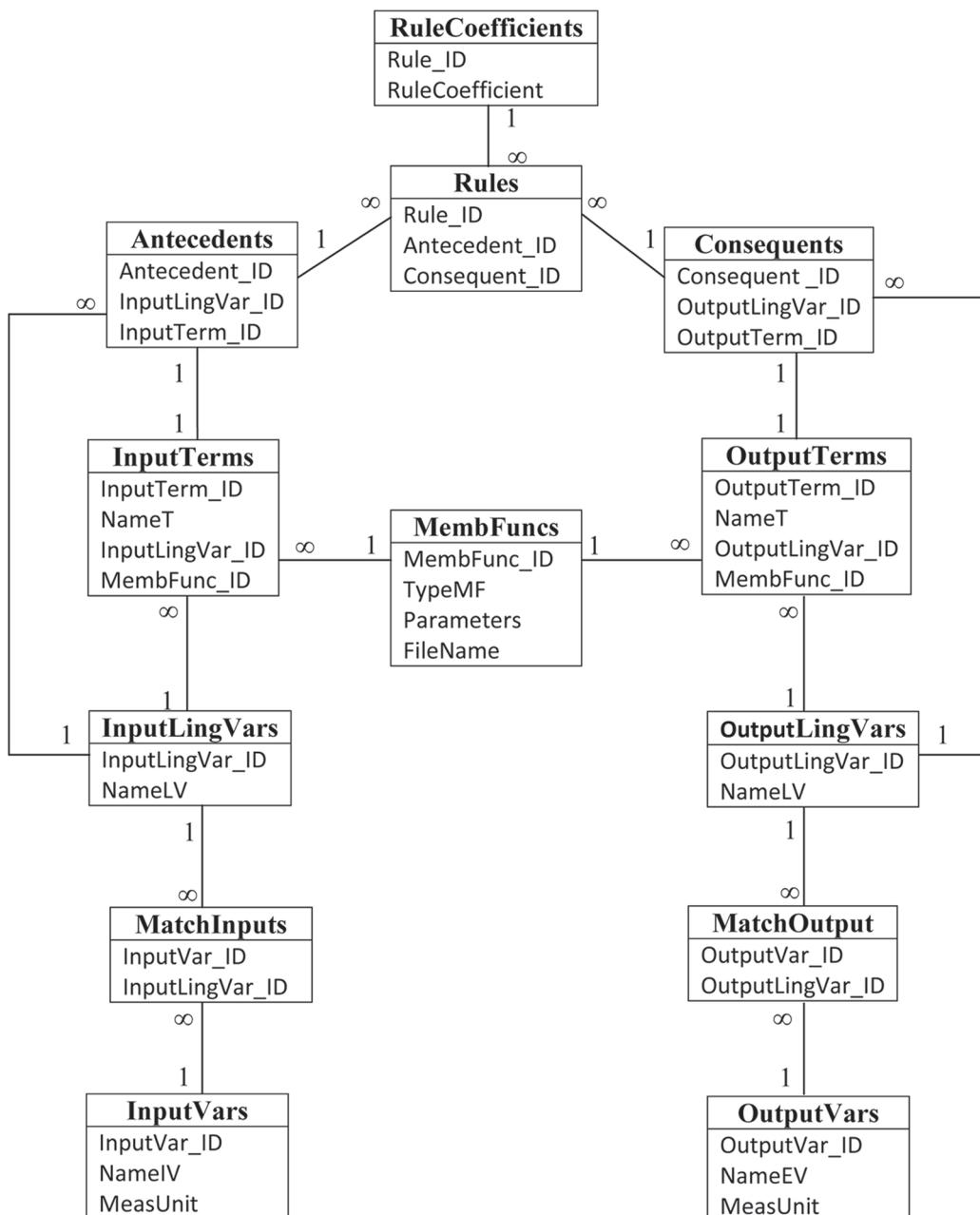


Рис. 2. Структури даних та їхній взаємозв'язок

Заповнювати наведені таблиці потрібно у зворотному порядку, використовуючи такий узагальнений алгоритм.

Крок 1. Заповнити таблиці вхідних і вихідних змінних — відповідно InputVars і OutputVars.

Крок 2. Сформувані вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, заповнивши відповідно таблиці InputLingVars і OutputLingVars.

Крок 3. Задати зв'язки між звичайними та лінгвістичними змінними, використавши таблиці MatchInputs і MatchOutput.

Крок 4. Для кожної лінгвістичної змінної сформувані множини термів та заповнити таблиці InputTerms і OutputTerms.

Крок 5. Визначити для кожного терма вид функції належності та заповнити таблицю MembFuncs згідно з відповідними підходами [8].

Крок 6. Сформувані антецеденти та консеквенти правил нечіткого виводу в таблицях Antecedents та Consequents.

Крок 7. Задати правила у вигляді нечітких продукцій та їхні вагові коефіцієнти, скориставшись таблицями Rules і RuleCoefficients.

Висновки

◆ Запропоновано формалізовану модель нечіткого управління на основі використання функцій належності багатьох аргументів.

◆ Розроблено структури даних для подання цієї моделі в інформаційних технологіях та побудовано алгоритм їх заповнення.

◆ Здобуті результати уможливають побудову інформаційних технологій для автоматизації

розв'язання задач нечіткого управління складними системами із застосуванням функцій належності багатьох аргументів.

У подальших дослідженнях необхідно розглянути структури даних та реалізацію алгоритмів окремих етапів нечіткого виводу.

Список використаної літератури

1. **Шушур А. Н., Тарасова И. А.** Метод нечеткого управления на основе переменных с многомерными функциями принадлежности // Искусственный интеллект. 2010. № 1. С. 122–128.

2. **Zadeh L. A.** Fuzzy sets // Information and Control. 1965. Vol. 8. P. 338–353.

3. **Mamdani E. H., Assilian S.** An experiment in linguistic in thesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7, № 1. P. 1–13.

4. **Леоненков А. В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

5. **Штовба С. Д.** Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Режим доступа:
<http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>.

6. **Ротштейн А. П.** Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. 320 с.

7. **Тарасова И. А.** Принципы построения и архитектура базы знаний системы нечеткого управления на основе многомерных функций принадлежности // Вісник Кременчуцького нац. ун-ту імені Михайла Остроградського. 2013. № 2(79). С. 56–61.

8. **Шушур А. Н., Тарасова И. А.** Способ задания многомерных функций принадлежности термов лингвистических переменных // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2013. № 1(26). С. 39–44.

Рецензент: доктор техн. наук, професор М. І. Сидоренко, Інститут радіофізики та електроніки НАН України, Харків.

А. Н. Шушур

СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ МНОГИХ АРГУМЕНТОВ

Проблема управления системами со сложной структурой связей между характеристиками может быть решена путем разработки информационных технологий на основе нечеткой логики с использованием функций принадлежности многих переменных. В статье приведена структура правил нечеткого вывода на основе указанных функций принадлежности. Для представления этих правил в информационных системах разработаны соответствующие структуры данных и алгоритмы. Результаты работы могут быть использованы при разработке информационных технологий для автоматизации решения задач управления сложными системами.

Ключевые слова: информационная технология; структура данных; нечеткое управление, функция принадлежности многих аргументов.

O. N. Shushura

INFORMATIONAL TECHNOLOGY DATA'S STRUCTURE OF FUZZY CONTROL ON THE BASIS OF MEMBERSHIP FUNCTIONS OF SEVERAL ARGUMENTS

The problem of control systems with a complex structure of relationships between characteristics can be solved by developing information technologies on the basis of fuzzy logic using the membership function of several arguments. The paper presents the structure of rules for fuzzy conclusion based on the membership function of several arguments, corresponding data structures and algorithms developed for their representation in information systems. The results of the work can be used to develop information technologies for automating the solution of complex system management tasks.

Keywords: information technology; data structure; fuzzy control; membership function of several arguments.