

УДК 519.816:510.22

В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов, А.В. Тристан

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН У ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ СИСТЕМАМИ

Розглянуто проблеми нечіткості інформації в процесах управління. Проведено аналіз використання теорії нечітких множин в процесах прийняття рішення. Розглянуті методи побудови функції приналежності нечітких множин та змінних. Наведено приклад рішення задачі нечіткого управління за допомогою лінгвістичної змінної

автоматизована система управління, лінгвістична змінна, нечітке управління, нечітка множина, нечітка змінна, об'єкт, прийняття рішення, складна система, фазифікація, функція приналежності

Вступ

Постановка проблеми. Проблеми прийняття рішення у невизначених умовах обстановки займають особливе місце в інформаційних технологіях. Математичні методи широко використовуються для описування складних економічних, соціальних, військових систем.

Теорія оптимізації сприяла розвитку методів, які дозволяють ефективно приймати рішення при відомих та фіксованих параметрах (вхідних даних).

Є успіхи і в тих методах, коли параметри обстановки (вхідні дані) – випадкові величини з відомими законами розподілу імовірності.

Основні труднощі виникають, коли параметри обстановки (вхідні дані) становляться не тільки невизначеними, але й невідповідними.

Людина, яка приймає рішення (ЛПР), досить часто стикається з задачею розрахунків рівнянь з нечітко заданими параметрами (вхідних даних або технологічної інформації). Така ситуація в управлінні може виникнути як через недостатні знання об'єкту управління, так і через суб'єктивність людини або групи експертів, кожен з яких має власну думку, коли значна частина інформації, необхідної для математичного описання існує в формі уявлень або побажань експертів. Однак буває важко знайти такий підхід, який дозволить врахувати думки та побажання кожного експерта, а також формалізувати процес їх вибору.

Існує підхід, який спирається на гіпотезу про те, що елементами мислення людини є не числа, а елементи деяких нечітких множин або класів об'єктів, для яких перехід з класу до класу не стрибкоподібний, а безперервний. Такий підхід більш точно описує процес людського мислення та поведінки і формалізується за допомогою математичного апарату теорії нечітких множин.

Аналіз досліджень та публікацій. Математична теорія нечітких множин, запропонована Л. Заде,

дозволяє описувати нечіткі поняття та знання, оперувати цими знаннями та робити нечіткі висновки [3]. У публікації [2] запропоновано використовувати нечіткі множини у системах управління, де вводиться поняття *нечітке управління*, надаються математичні методи роботи з нечіткими множинами. В джерелі [1] визначаються основні поняття для побудови нечітких моделей, методи обробки нечіткої інформації.

Метою статті є проведення аналізу використання нечітких множин в процесах управління складними системами, привести приклад використання лінгвістичної змінної та навести основні методи отримання функції приналежності.

Основна частина

В загальному випадку складні умови експлуатації сучасних систем управління приводять до необхідності врахування наступних видів невизначеності [1]:

низька точність вхідної оперативної інформації (наявність такого виду невизначеності викликає неточність в задаванні змінних величин в моделях, початкових та граничних умов, особливо гостро проявляється в системах управління військового призначення, як недостовірність вхідних даних про противника);

неточність моделей об'єктів контролю та управління, яка виникає через невірно проведену декомпозицію задачі управління, надмірної ідеалізації моделі складного процесу, тощо;

нечіткість в процесах прийняття рішення у багаторівневих ієрархічних системах, яка виникає за рахунок наявності процесу компромісного узгодження чітких цілей та координуючих рішень з питаннями ресурсного забезпечення на кожному рівні управління, що приводить до появи понять і відношень з нестрогими межами (нечіткість методу прийняття рішення);

наявність ЛПР в системі управління (поєднання

суб'єктивної думки людини з чіткими даними, які отримані за допомогою ЕОМ).

Зниження нечіткості в процесах управління складними системами досягається за допомогою використання алгоритмів, побудованих на математичному апараті теорії нечітких множин.

В класичній теорії множин не порожня підмножина A з універсальної множини X однозначно описується характеристичним функціоналом:

$$I_A(X) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } X \in A; \\ 0, & \text{якщо } X \notin A. \end{cases} \quad (1)$$

Підмножина A визначається як сукупність об'єктів, які мають деяку загальну властивість, наявність або відсутність яких у будь-якого елемента X задається характеристичним функціоналом. Причому відносно природи об'єкта не робиться жодних припущень. Задавання деякої множини в цьому випадку еквівалентно задаванню його характеристичного функціонала, тому всі операції над множинами можна виразити через дію над їх характеристичними функціоналами [2].

Однак такі поняття як множина «великих» або «малих величин» з якими можна часто зустрітися при рішенні різних задач не є множинами в змісті (1), оскільки чітко не визначені кордони ступеня малості, які б дозволили провести класифікаційну процедуру (1) та чітко віднести кожен об'єкт до визначеного класу. Більшість класів реальних об'єктів та процесів відносяться саме до такого невизначеного типу. При цьому можна ввести поняття про нечітку підмножину як про клас з безперервною функцією приналежності.

Для нечіткої множини, яка є розширенням поняття множини, на множині об'єктів $X = \{x\}$ вводиться не функціонал виду (1), а характеристична функція, яка задає для всіх елементів ступінь наявності у них деякої властивості, згідно якої вони відносяться до множини A . Ця характеристична функція для нечіткої множини іменується як **функція приналежності**.

Нечітка множина A множини X характеризується функцією приналежності $\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$, яка ставить у відповідність кожному елементу $x \in X$ число $\mu_A(x)$ з інтервалу $[0, 1]$ та характеризує ступінь приналежності елемента x підмножині A . Причому 0 та 1 визначають нижчу та вищу ступінь приналежності елемента до заданої множини.

Процес отримання функцій приналежності є основною проблемою в теорії нечітких множин [5].

Функції приналежності можуть формуватися **прямими** методами, коли ЕОМ (програма) або експерт просто задає для кожного $x \in X$ значення $\mu_A(x)$, або визначає функцію сумісності. Як правило, прямі методи завдання функції приналежності використовуються для вимірюваних понять, таких як, наприклад, швидкість, час, відстань, висота, па-

раметр руху повітряного апарату та ін., або коли виділяються полярні значення.

В багатьох задачах з характеристикою об'єкта можна виділяти набір ознак і для кожного з них визначити полярні значення, що відповідають значенням функції приналежності, 0 або 1.

Для конкретної множини A експерт, виходячи з приведеної шкали, задає $\mu_A(x) \in [0, 1]$, формує векторну функцію приналежності виду $\{\mu_A(x_1), \mu_A(x_2), \dots, \mu_A(x_m)\}$.

При **прямих** методах можуть використовуватися групові прямі методи, коли, групі експертів визначають можливості виникнення деякої ситуації, як наприклад - входження цілі в зону вогню. Кожен з експертів повинен дати одну з двох відповідей: "ціль входить в зону вогню" або "ціль не входить в зону вогню", тоді кількість стверджувальних відповідей, поділена на загальну кількість експертів, дає значення μ (для конкретної цілі).

Непрямі методи визначення функції приналежності використовуються у випадках, коли немає елементарних вимірювальних засобів, через які визначається нечітка множина. Як правило, це методи попарних порівнянь. Якщо значення функцій приналежності були б відомі, наприклад, $\mu_A(x_i) = w_i$; $i = 1, 2, \dots, n$, то попарні порівняння можна уявити матрицею відносин $A = \{a_{ij}\}$, де $a_{ij} = w_i / w_j$.

На практиці програма ЕОМ або сам експерт формує матрицю A , при цьому передбачається, що діагональні елементи рівні 1, а елементи симетричних відносно діагоналі знаходяться як $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

Тобто, якщо один елемент оцінюється в α раз сильніше чим інший, то цей останній повинен бути в $1/\alpha$ раз сильнішим за перший. В загальному випадку задача зводиться до пошуку вектора w , що задовольняє рівнянню $A_w = \lambda_{\max} w$, де λ_{\max} - найбільше власне значення матриці A . Оскільки матриця A позитивна за будовою, рішення даної задачі існує і є позитивним.

Третій тип методів – **комплексний метод** визначення функції приналежності нечітких множин, який полягає у початковому вимірюванні зазначених параметрів шуканої множини з подальшим уточненням їх значень математичними методами.

Лінгвістичною змінною називають змінну, значеннями якої є слова або речення звичайної мови, які описуються нечіткими значеннями. Лінгвістичну змінну можна визначити кортежем $\langle \beta, T, A, G, M \rangle$, де β – найменування лінгвістичної змінної, T – множина її значень або термів, які представляють собою найменування нечітких змінних, областю визначення якої є множина A . M – семантична процедура, яка дозволяє приписати

кожному новому значенню, яке утворюється процедурою G, деяку семантику шляхом формування відповідної нечіткої множини [3].

Однією з областей використання нечітких концепцій є теорія управління складними системами, важливою складовою яких є людина з нечітким уявленням. Для багатьох таких систем відомі чіткі моделі функціонування, які дозволяють будувати чіткі алгоритми управління. Однак для реалізації оптимальних алгоритмів управління потрібно знати точні значення параметрів системи, які доволі часто відомі лише приблизно, або в деякому інтервалі. Окрім цього при функціонуванні системи на неї можуть діяти різноманітні фактори, які мають флуктуаційний характер і не завжди можуть бути відображені в алгоритмі управління.

Ефективність алгоритму управління складною системою досить висока для розрахункових значень параметрів системи, але різко падає при зміні цих параметрів (крива 1 на рис.1). Один з шляхів подолання цього недоліку полягає у використанні нечітких алгоритмів управління складними системами, які мають меншу ефективність для розрахункових значень параметрів, але зберігають її у широкому діапазоні значень (крива 2 рис. 1).

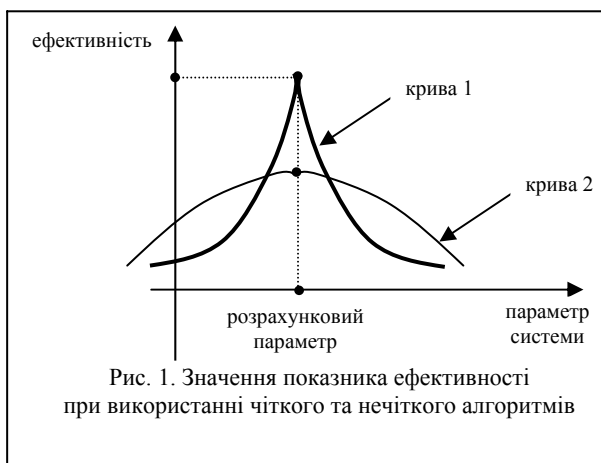


Рис. 1. Значення показника ефективності при використанні чіткого та нечіткого алгоритмів

Наведемо приклад використання нечіткого алгоритму при прийнятті рішення на посадку повітряного апарату.

Реалізація цього алгоритму складається з трьох етапів [1]:

фазифікація – перехід від точних вихідних даних задачі, яка вирішується до нечітких на основі вхідних функцій приналежності;

рішення задачі з використанням нечітких інструкцій (нечіткої логіки, лінгвістичних правил);

дефазифікація – перехід від нечітких інструкцій (нечітких інструкцій, лінгвістичних правил) до чітких рішень на основі вихідних функцій приналежності.

Введемо дві лінгвістичні змінні: ШВИДКІСТЬ повітряного апарату, яка може приймати нечіткі значення (терми): «мала», «середня», «велика» та задаватися наступним кортежем:

$$\left\langle \begin{array}{l} \text{ШВИДКІСТЬ, } \{ \text{мала, середня, велика} \}, \\ [0, 700], G, M \end{array} \right\rangle, \quad (2)$$

де G – процедура перебору елементів базової множини, M – процедура експертного опитування та УМОВИ ПОСАДКИ, яка може приймати нечіткі значення: «погані», «добрі», «оптимальні» та задаватися наступним кортежем:

$$\left\langle \begin{array}{l} \text{УМОВИ ПОСАДКИ, } \{ \text{погані, добрі,} \\ \text{оптимальні} \}, \\ [0, 3], G, M \end{array} \right\rangle. \quad (3)$$

Нечітка інструкція управління системою має наступні правила:

«при малій швидкості умови посадки добрі»;

«при середній швидкості умови посадки оптимальні»;

«при великій швидкості умови посадки погані»;

Лінгвістичну змінну, визначену терміном ШВИДКІСТЬ, за результатами експертного опитування (прямий метод формування функції приналежності) можна представити функцією приналежності (вихідна функція), представленою на рис. 2.



Рис. 2. Функція приналежності лінгвістичної змінної ШВИДКІСТЬ

Лінгвістичну змінну УМОВИ ПОСАДКИ за результатами експертного опитування можна визначити та представити функцією приналежності (вихідна функція) (рис. 3).

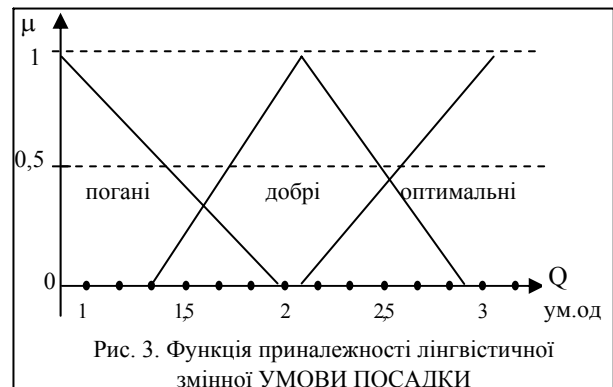


Рис. 3. Функція приналежності лінгвістичної змінної УМОВИ ПОСАДКИ

З рис. 2 видно, що області визначення функцій приналежності вхідних термів лінгвістичної змінної ШВИДКІСТЬ перетинаються, значить вихідне нечі-

тке правило буде деякою мірою представлено комбінацією вхідних правил.

Нехай в деякий момент часу зафіксована швидкість повітряного апарату, який йде на посадку в 470 м/с. У відповідності з рис. 2 дана швидкість з достовірністю 0,8 належить до терму «середня» та з достовірністю 0,2 до терму «велика». У відповідності з інструкцією ця швидкість на 0,8 відповідає «оптимальним» умовам посадки та на 0,2 «поганим». Процедуру дефазифікації приймемо у вигляді:

$$Q = 3 \cdot \mu(\text{середня}) + 2 \cdot \mu(\text{мала}) + 1 \cdot \mu(\text{велика}). \quad (4)$$

Підставляючи відомі дані отримаємо $Q = 3 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,2 = 2,4$. З рис. 3 визначаємо, що це значення відповідає умовам посадки 0,38 «оптимальні» та 0,62 «добрі». На основі отриманих коефіцієнтів умов посадки можна прийняти рішення на допустимість посадки на такій швидкості, а також зробити висновок про час, який буде затрачений на посадку, довжину гальмівної, смуги, розхід палива, знос шасі та ін.

Представлений приклад рішення задачі нечіткого управління можна ускладнити, якщо ввести додаткові лінгвістичні змінні, що впливають на умови посадки, такі як ПОГОДНІ УМОВИ, ПІДГОТОВКА ПІЛОТА та інші. При цьому процедура дефазифікації (4) повинна відповідати всім цим змінним.

Лінгвістичний підхід при будові моделей прийняття рішень в системах управління дозволяє:

використовувати для описання елементів задач прийняття рішень приблизні, суб'єктивні оцінки ЛПР, що виражені за допомогою нечітких понять, відношень і висловлень професійної мови ЛПР;

формалізувати нечіткі описання за допомогою нечітких множин, лінгвістичних змінних і нечітких доповідей, донесень;

оперувати отриманими формалізованими об'єктами за допомогою апарату, що розвивається на основі теорії нечітких множин;

надавати результати рішення задачі як у вигляді нечітких описань з використанням понять і відношень професійної мови ЛПР, так й у вигляді чітких рекомендацій, аналогічно тому, як це має місце

в теорії ігор, де рекомендації можна отримати у вигляді або оптимальних змішаних стратегій, або узгоджених з останніми чистих стратегій [4].

Формалізація нечітких понять і відносин професійної мови ЛПР забезпечується введенням нечіткої і лінгвістичної змінних, нечіткої множини і відношення. Перші дві забезпечують перехід від словесних описань елементів задач прийняття рішення до чисельних, другі два є засобом чисельного уявлення нечітких понять і відносин [2].

Висновки

Теорія нечітких множин дозволяє відображати невизначеності та неточності реального світу. Нечітка логіка та нечітке управління більш схоже на логіку та мислення людини, тому використання математичного апарату теорії нечітких множин у процесі прийняття рішення дозволить будувати моделі, адекватні реальності, розширити можливості системи управління для використання елементів штучного інтелекту при побудові перспективних систем управління складними об'єктами та системами.

Список літератури

1. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. – Тюмень: Тюменский государственный университет, 2000. – 352 с.
2. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений / А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьев и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.: ил.
3. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Литвак Б.Г. Разработка управленческого решения: учебник. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Дело, 2006. – 440 с.
5. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта (Проблемы искусственного интеллекта) / Под. ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред физ.-мат.лит., 1986. – 312 с.

Надійшла до редколегії 3.03.2008

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Академія ВВ МВС України, Харків.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

Ткаченко В.И., Смирнов Е.Б., Тристан А.В.

Рассмотрены проблемы нечеткости информации в процессах управления. Проведен анализ использования теории нечетких множеств в процессах принятия решения. Рассмотрены методы построения функции принадлежности нечетких множеств и переменных. Приведен пример решения задачи нечеткого управления с помощью лингвистической переменной.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, лингвистическая переменная, нечеткое управление, нечеткое множество, нечеткая переменная, объект, принятие решения, сложная система, фазификация, функция принадлежности.

USE OF THE UNCLEAR SET THEORY IN THE PROCESS OF MANAGEMENT DIFFICULT SYSTEMS

Tkachenko V.I., Smirnov Ye.B., Tristan A.V.

The problems of unclearness of information are considered in the processes of management. The analysis of the use of the unclear set theory is conducted in the processes of decision-making. The methods of construction of function of belonging of fuzzy sets and variables are considered. The example of decision of task of unclear management is resulted by a linguistic variable.

Keywords: automated control system, linguistic variable, unclear management, fuzzy set, unclear variable, object, decision-making, difficult system, phasic, function of belonging.