

УДК 004.9: 681.3

О.І. Пурський

*Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Черкаси***ЗАДАЧА ІДЕНТИФІКАЦІЇ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

*Розглянуто принципи застосування нечіткої логіки в системах управління. Досліджено особливості ідентифікації математичної моделі прийняття рішень в експертних системах управління на основі нечіткої логіки. Запропоновано схему ідентифікації математичної моделі, що базується на застосуванні механізму мінімізації області прийняття рішень.*

**Ключові слова:** експертні системи, нечіткі системи управління, структурна та параметрична ідентифікація, мінімізація області прийняття рішень

**Постановка проблеми та її актуальність**

Математична теорія нечітких множин, запропонована Л. Заде [1] більше чверті століття назад, дозволяє описувати нечіткі поняття і знання, оперувати цими знаннями і робити нечіткі висновки. Засновані на цій теорії методи побудови комп'ютерних нечітких систем істотно розширюють області застосування комп'ютерів. Останнім часом нечітке управління є однією з найактивніших і найрезультативніших областей досліджень застосування теорії нечітких множин. Нечітке управління виявляється особливо корисним, коли технологічні процеси є дуже складними для аналізу за допомогою загальноприйнятих кількісних методів, або коли доступні джерела інформації інтерпретуються якісно, неточно або невизначено. Експериментально показано, що нечітке управління дає кращі результати, у порівнянні з одержуваними при загальноприйнятих алгоритмах управління. Нечіткі методи допомагають управляти автомобілем або поїздом, розпізнавати мову і зображення, проектувати роботів, що володіють дотиком і зором. Нечітка логіка, на якій засновано нечітке управління, ближче за своєю суттю до людського мислення і природних мов, чим традиційні логічні системи. Нечітка логіка, в основному, забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Наявність математичних засобів відзеркалення нечіткості початкової інформації дозволяє побудувати модель, адекватну реальності. Для створення дійсно інтелектуальних систем, здатних адекватно взаємодіяти з людиною, потрібен математичний апарат, який переводить неоднозначні життєві

твердження в мову чітких і формальних математичних формул.

Класична логіка оперує тільки двома поняттями: «істина» і «хибність», виключаючи будь-які проміжні значення. Аналогічно цьому булева логіка не визнає нічого окрім одиниць і нулів. Нечітка логіка заснована на використанні оборотів природної мови. Ви самі визначаєте необхідне число термінів і кожному з них ставите у відповідність деяке значення описуваної фізичної величини. Для цього значення ступінь приналежності фізичної величини до терма (слово природної мови, що характеризує змінну) буде дорівнювати одиниці, а для всієї решти значень - залежно від вибраної функції приналежності. Діапазон застосування нечіткої логіки дуже широкий – від побутових приладів до управління складними промисловими процесами. Багато сучасних завдань управління просто не можуть бути вирішені класичними методами через дуже велику складність математичних моделей, що описують їх. Разом з тим, щоб використовувати теорію нечіткості на цифрових комп'ютерах, необхідні математичні перетворення, що дозволяють перейти від лінгвістичних змінних до їх числових аналогів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Першим серйозним кроком в цьому напрямку стала теорія нечітких множин, розроблена Л. Заде [1]. Його робота «FuzzySets», опублікована у 1965р. році в журналі «Informational Control», заклала основи моделювання інтелектуальної діяльності людини і стала початком розвитку нової математичної теорії. Він же дав і назву для нової області науки – «fuzzylogic». Апарат теорії нечітких

множин, продемонструвавши ряд багатообіцяючих можливостей застосування - від систем управління літальними апаратами до прогнозування підсумків виборів – виявився разом з тим складним для втілення. Враховуючи наявний рівень технології, нечітка логіка зайняла своє місце серед інших спеціальних наукових дисциплін - десь посередині між експертними системами і нейронними мережами. З розробок штучного інтелекту завоювали стійке визнання експертні системи, як системи підтримки ухвалення рішень, зокрема експертні системи на основі нечіткої логіки (рис. 1). Вони здатні акумулювати знання, одержані людиною в різних областях діяльності. За допомогою експертних систем вдається вирішити багато сучасних завдань, у тому числі і завдання управління.

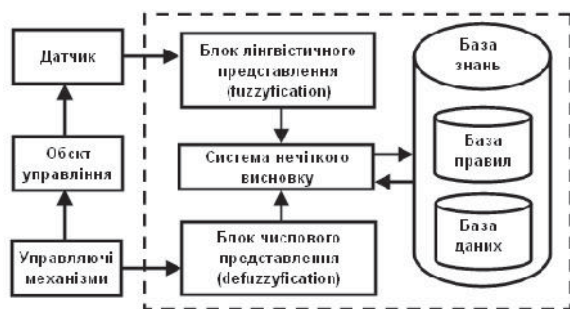


Рис. 1. Структура експертної системи управління на основі нечіткої логіки

Одним з основних методів представлення знань в експертних системах є продукційні правила, що дозволяють наблизитися до стилю мислення людини. Зазвичай продукційне правило записується у вигляді: «ЯКЩО (посилка) (зв'язка) (посилка)... (посилка) ТО (висновок)». Можлива наявність декількох посилок в правилі, в цьому випадку вони об'єднуються за допомогою логічних зв'язок «І», «АБО». Нечіткі системи теж засновані на правилах продукційного типу, проте як посилка і висновок в правилі використовуються лінгвістичні змінні, що по суті дозволяє уникнути обмежень, властивих класичним продукційним правилам. Нечітка система (НС), це система, особливістю опису якої є:

- нечітка специфікація параметрів;
- нечіткий опис вхідних і вихідних змінних системи;
- нечіткий опис функціонування системи на основі продукційних правил «ЯКЩО-ТО».

Найважливішим класом нечітких систем є нечіткі системи управління (НСУ). Одним з найважливіших компонентів НСУ є база знань (рис.2), яка є сукупністю нечітких правил «ЯКЩО—ТО», що визначають взаємозв'язок між входами і виходами досліджуваної системи. Існують різні

типи нечітких правил: лінгвістична, реляційна, модель Takagi-Sugeno [2].



Рис. 2. Структура нечіткої моделі

Для багатьох застосувань, пов'язаних з процесами управління, необхідна побудова математичної моделі даного процесу. Знання моделі дозволяє підібрати відповідний регулятор (модуль управління). Проте часто побудова коректної моделі є важкою проблемою, що вимагає іноді введення різних спрощень. Застосування теорії нечітких множин для управління процесами не передбачає знання моделей цих процесів. Слід тільки сформулювати правила поведінки у формі нечітких умовних думок типу «ЯКЩО-ТО».

Процес управління системою безпосередньо пов'язаний з вихідною змінною нечіткої системи управління, але результат нечіткого логічного висновку є нечітким, а фізичний виконавчий пристрій не здатний сприйняти таку команду. Необхідні спеціальні математичні методи, що дозволяють переходити від нечітких значень величин до цілком визначених. В цілому весь процес нечіткого управління можна розбити на декілька стадій: фазифікація, розробка нечітких правил і дефазифікація (рис.1).

Основними споживачами нечіткої логіки на ринку є банкіри і фінансисти, а також фахівці у області політичного і економічного аналізу. Вони використовують інтелектуальні системи засновані на нечіткій логіці для створення моделей різних економічних, політичних, біржових ситуацій, у випадках, коли важлива швидкість проведення розрахунків та в умовах неповноти і неточності вхідної інформації. Серед лідерів розробників цього виду програмного забезпечення виділяється американська компанія Nureg Logic, заснована в 1987р. Фредом Уоткінсом. Нещодавно вийшла на ринок нова версія пакету CubiCalc фірми Nureg Logic, яка є однією з найпотужніших експертних систем на основі нечіткої логіки (рис. 1). Пакет містить інтерактивну оболонку для розробки нечітких експертних систем і систем управління, а також run-time модуль, що дозволяє оформляти створені користувачем системи у вигляді окремих програм.

## Формулювання мети статті

Головна мета проведених досліджень полягала у вивченні особливостей ідентифікації математичної моделі прийняття рішень в експертних системах управління на основі нечіткої логіки.

## Виклад основного матеріалу

У техніці, економіці, політиці, соціології, медицині, біології та в інших областях часто виникає завдання побудови математичної моделі за наслідками спостережень, або іншими словами задача ідентифікації математичної моделі прийняття рішень. У тих випадках, коли моделі, що синтезуються, базуються на експертних лінгвістичних висловах типу «Якщо інфляційні очікування - високі, і політична ситуація — нестабільна, і стан економіки - кризисний, то курс національної валюти — сильно впаде», основним інструментом побудови моделей є методи нечіткої логіки. Застосування лінгвістичних правил «ЯКЩО–ТО» дозволяє значно зменшити обсяг експериментальних даних, необхідних для якісної ідентифікації математичної моделі, а також сприяє використанню ідентифікованих моделей в якості математичних моделей процесів прийняття рішень в експертних системах управління.

У сучасній теорії ідентифікації все більш важливу роль починають відігравати методи, що застосовують лінгвістичну інформацію для побудови моделей нелінійних залежностей. Одним з найбільш розроблених в інженерному відношенні інструментів обліку лінгвістичної інформації є теорія нечітких множин і нечітка логіка. Перший етап — структурна ідентифікація — є формуванням нечіткої бази знань, яка грубо відображає взаємозв'язок між входами і виходом за допомогою лінгвістичних правил «ЯКЩО–ТО». Лінгвістичні правила генеруються експертом або виходять в результаті екстракції нечітких знань з експериментальних даних. На другому етапі проводиться параметрична ідентифікація досліджуваної залежності шляхом знаходження таких параметрів нечіткої бази знань, які мінімізують відхилення модельних і експериментальних (в деяких випадках бажаних) результатів.

Нечіткий логічний висновок — це по суті апроксимація залежності «входи–вихід» на основі лінгвістичних висловів типу «ЯКЩО–ТО» і операцій над нечіткими множинами. Нечітка модель містить такі блоки (рис. 2):

*фазификатор* — перетворює фіксований вектор впливаючих чинників  $X$  у вектор нечітких множин  $\bar{X}$ , необхідних для виконання нечіткого логічного висновку;

*нечітка база знань* — містить інформацію про залежність  $Y=F(X)$  у вигляді лінгвістичних правил типу «ЯКЩО–ТО»;

*машина нечіткого логічного висновку* - на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді нечіткої множини  $\bar{Y}$ , відповідної нечітким значенням вхідних змінних  $\bar{X}$ ;

*дефазифікатор* — перетворює вихідну нечітку множину  $\bar{Y}$  в чітке число  $Y$ .

Завдання ідентифікації полягає в знаходженні нечіткої моделі  $F$ , що забезпечує мінімальне значення критерію середньоквадратичної неузгодженості  $R$  [1]:

$$R = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M (y_r - F(X_r))^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де  $X_r$  — вектор входів;  $y_r$  — вихід в  $r$ -парі;  $M$  — об'єм вибірки,  $F(X_r)$  — значення виходу нечіткої моделі при значенні входів заданих вектором  $X_r$ .

Вихід нечіткої моделі залежить від її структури — бази знань і параметрів: функцій належності, реалізацій логічних операцій, методу дефазифікації, а також коефіцієнтів лінійних функцій у висновках правил [2]. Знаходження структури і параметрів нечіткої моделі, що забезпечують мінімальне значення критерію і є завданням ідентифікації.

Експертні системи управління на основі нечіткої логіки не можуть повністю гарантувати формування правильної відповіді на випадковий вхідний запит проблемної області, оскільки в самих моделях прийняття рішень на основі яких функціонують експертні системи закладено принципи, що початково базуються на деяких наближеннях. Дійсно можна отримати в результаті запиту до експертної системи відповідь, що буде максимально близькою до деякої існуючої в базі знань, але суть не в можливості отримання комбінації-відповіді, яка буде мінімально відрізнитися або повторювати раніше введену комбінацію і приймати це за правильну відповідь. Проблема полягає в знаходженні механізму інтелектуального пошуку-аналізу здатного генерувати комбінацію-відповідь, яка була б правильним вирішенням задачі. По суті, проблема з математичної точки зору не може бути повністю вирішена, оскільки пов'язана з нескінченними величинами-варіаціями. Завжди можна отримати правильне рішення за наявності кінцевих критеріїв (постійні початкові умови, повна база даних, встановлені формальні правила прийняття рішень). Але неможливо знайти повний розв'язок при невизначених постійно змінних критеріях, можна лише використовувати різного роду наближення (раніше введені умови для інших, подібних вхідних запитів, принципи прийняття рішень, що раніше

використовувалися і т.п.) і чи можна вважати, що таке наближення буде тією правильною відповіддю системи, яка необхідна. Звичайно можна розробляти нові різні механізми прийняття рішень, але в даному випадку вони ніколи не будуть оптимальними, завжди буде наявна закладена задалегідь помилка, яку неможливо виключити. Це говорить нам про принципову неможливість формування системою стовідсотково імовірно правильної відповіді на випадковий вхідний запит. Є два шляхи часткового вирішення проблеми: зниження імовірності виникнення помилки вихідного вектора (відповідь) шляхом формування постійно розширюваної бази знань експертної системи, а також шляхом її практично повного виключення за рахунок поділу області вхідних задач (концепція мінімізації області прийняття рішень) [3]. В останньому випадку мається на увазі, створення експертної системи для конкретної предметної області або її частини, всі дані і правила прийняття рішень якої можна ввести в нечітку базу знань. Механізм розв'язку задачі управління експертною системою згідно концепції мінімізації області прийняття рішень полягає у такому. Найбільш відповідальний етап це навчання експертної системи. У процесі навчання на основі централізованої бази даних, знань і досвіду експертів формується нечітка база знань. База знань обов'язково повинна включати в себе базу даних, умови і обмеження, систему пріоритетів, принципи доцільності і формальні правила прийняття рішень. Окремо слід зазначити, що для підвищення ефективності механізмів функціонування експертної системи є надзвичайно важливим забезпечення такої нової якості, як інституціональна пам'ять, яка на наш погляд обов'язково повинна входити до складу нечіткої бази знань. Вона створюється за рахунок взаємодій з фахівцями і являє собою поточну політику цієї групи людей. Цей набір знань стає збірником кваліфікованих думок з постійно оновлюваним довідником найкращих стратегій і методів використовуваних персоналом задіяним в системі охорони здоров'я. Згідно з концепцією мінімізації області прийняття рішень вхідний запит повинен спочатку пройти ідентифікацію на предмет належності до конкретної області, з цією метою може застосовуватися наприклад система спеціалізованих фільтрів або система аналізу числових кодів [3]. Після цього запит може проходити наступні етапи ідентифікації належності конкретній підобласті, частині, розділу предметної області. В такій системі вхідний запит перетворюється в набір числових кодів, який підлягає аналізу на предмет відповідності. Залежно від результатів цього аналізу здійснюється адресація вхідного запиту до мінімальної структурної одиниці системи прийняття рішень – бази знань конкретної

частини предметної області. При цьому загальна база знань експертної системи ієрархічно поділена, згідно з концепцією мінімізації, на структурні частини. Коли вхідний сигнал надходить у відібрану таким чином структурну частину бази знань, у відповідно до загальних для даної частини бази знань формальних правил прийняття рішень, створюється передаточна функція, яка формує вихідний сигнал-відповідь. В результаті поділу області вхідних задач і проблемне середовище, і проблемна область стають більш визначеними. Це приводить до зменшення критерію R, що сприяє ідентифікації математичної моделі нечіткої логіки.

## Висновки

Розглянута схема нечіткого висновку, що базується на застосуванні механізму мінімізації області прийняття рішень, сприяє не тільки структурній ідентифікації в процесі формування бази знань, але й дозволяє значно підвищити продуктивність знаходження параметрів нечіткої моделі, оскільки в даному випадку, ми маємо справу не з нескінченними величинами-варіаціями, а з великою кількістю, але тим не менш, кінцевим числом даних і формальних правил прийняття рішень, що по суті уможливило знаходження системою правильного рішення задачі. Це дуже важливий фактор, тому що застосування концепції мінімізації області прийняття рішень зменшує кількість правил для опису нечіткої моделі, що в свою чергу зменшує зусилля, необхідні для аналізу і проектування систем управління, при цьому ефективність функціонування експертної системи не знижується.

## Список літератури

1. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде - М.: Мир, 1976.
2. Орлов А.И. Теория принятия решений: учебное пособие / А.И. Орлов.- М.: Издательство «Март», 2004. - 656 с.
3. Пурский О.И. К вопросу адекватности использования моделей и методов поиска ответа на случайный входной запрос в системах искусственного интеллекта / О.И. Пурский // Материалы международной научно-технической конференции «AVIA-2003». – К.: НАУ, 2003. - Т. 1, Секция 14. – С. 14.9-14.12.

Стаття надійшла до редколегії 1.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, С.В. Голуб, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, Черкаси