

УДК 681.3.07

ЛОГІКО-ЛІНГВІСТИЧНІ МОДЕЛІ В НЕЧІТКИХ СИСТЕМАХ

А.А. Коваль

Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченка,
03127, Київ, проспект Академіка Глушкова, 2, корп. 6.
Тел.: 8066 726 8260, E-mail: islab@unicyub.kiev.ua.

Пропонується підхід до побудови алгоритму для обґрунтування процесу прийняття рішень в нечітких системах з використанням поняття лінгвістичної змінної.

The approach to construction of algorithm for a substantiation of decision-making process in fuzzy systems with use of concept of a linguistic variable is proposed.

Вступ

Як відомо, поняття нечіткої множини запропоноване Л. Заде в [1]. Згідно з основними положеннями теорії нечітких множин належність деякого елемента до такої множини, на відміну від звичайних множин, де елемент або належить множині, або ні, визначається довільним числом з одиничного відрізка $[0;1]$. Теорія нечітких множин застосовується в різних галузях комп'ютерних наук, зокрема в теорії подання знань, методах ідентифікації і розпізнання образів, теорії прийняття рішень, теорії оптимізації та ін. Це пов'язано з тим, що не завжди можна точно визначити належність об'єкта до деякого класу або точно визначити його властивості. Теорія нечітких множин дає можливість формалізувати неточні й інтуїтивні знання, що виявилось досить корисним при розробці основних принципів штучного інтелекту, зокрема експертних систем (ЕС).

Незважаючи на велику кількість напрацювань в даному напрямку, розробка ЕС, а особливо бази знань пов'язана з рядом труднощів. Перш за все, при створенні бази знань для експертної системи слід з'ясувати, які саме знання і в якій формі будемо використовувати. Процес придбання знань є найважливішим етапом створення ЕС. Він включає в себе пошук знань з різних джерел, перетворення до належного вигляду та перенесення до бази знань експертної системи.

Джерелом знань можуть бути книги, архівні документи, статті, зміст інших баз знань, тобто деякі предметні знання, приведені до деякої форми, яка робить їх доступною для користувача. Іншим типом знань є експертні знання, якими володіють спеціалісти, проте дані знання не зафіксовані на зовнішніх носіях. Експертні знання являються суб'єктивними. Одним з виглядів суб'єктивних знань є емпіричні знання. Введення до бази знань предметних знань не створює особливих проблем. Проте процес виявлення, формалізація та ввід суб'єктивних, а особливо експертних знань є достатньо важким.

У даній роботі буде розглянуто можливість формалізації якісних знань з використанням теорії нечітких множин, особливо ті її аспекти, що пов'язані з лінгвістичною невизначеністю, яка найбільш часто виникає при роботі з експертами на природній мові.

Привабливість нечіткої логіки при побудові експертних систем виявляється в її близькості до природної мови. Таким термінам, як «швидкий», «повільний», частіше всього дається інтерпретація на основі повсякденного досвіду та інтуїції. Це спрощує процес інженерії знань, оскільки подібні судження людини-експерта можна безпосередньо перетворити у вираз нечіткої логіки.

Лінгвістична змінна

Лінгвістичною називається змінна, яка приймає значення з множини слів або словосполучень деякої природної, або штучної мови. Множина допустимих значень лінгвістичної змінної називається терм-множиною. Термом (term) називається будь-який елемент терм-множини. В теорії нечітких множин терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції приналежності.

Задані значення змінної словами, без використання чисел, для людини є більш звичними. Щоденно ми приймаємо рішення на основі лінгвістичної інформації типу: "дуже висока температура"; "тривала поїздка"; "миттева відповідь"; "чудова квітка"; "гарний смак" і т.д. Психологи встановили, що в людському мозку майже вся числова інформація вербально перекодовується та зберігається у вигляді лінгвістичних термів. Поняття лінгвістичної змінної грає важливу роль в нечіткому логічному виводі та в прийнятті рішення на основі наближених виводів. Формально, лінгвістична змінна визначається так:

Лінгвістичною змінною називають набір $\langle \beta, T, U, G, M \rangle$, де

β – найменування лінгвістичної змінної; T – множина її значень (терм-множина), що є найменуваннями нечітких змінних, областю визначення кожної з яких є множина X . Множину T називають базовою терм - множи-

ною лінгвістичної змінної; U – множина синтаксичних правил, що породжують терми за допомогою квантифікаторів; G – синтаксична процедура, що дозволяє оперувати елементами терм-множини T , як приклад, генерувати нові терми (значення); M – семантична процедура, яка дозволяє перетворити кожне нове значення лінгвістичної змінної, утворене процедурою G , в нечітку змінну, тобто сформувані відповідну нечітку множину.

Значеннями лінгвістичної змінної являються нечіткі множини, символами яких є слова та речення на звичайній або формальній мові, які виступають деякою елементарною характеристикою явища.

Логіко-лінгвістичний опис системи

Логіко-лінгвістичні методи опису систем основані на тому, що поведження дослідної системи описується на звичайній (або близькій до звичайної) мові в термінах лінгвістичних змінних. Вхідні та вихідні параметри системи розглядаються як лінгвістичні змінні, а якісний опис процесу задається сукупністю висловлювань на ступного вигляду:

L_1 : якщо $\langle a_{11} \rangle$ і/або $\langle a_{12} \rangle$ і/або ... і/або $\langle a_{1m} \rangle$, то $\langle b_{11} \rangle$ і/або ... і/або $\langle b_{1n} \rangle$,

L_2 : якщо $\langle a_{21} \rangle$ і/або $\langle a_{22} \rangle$ і/або ... і/або $\langle a_{2m} \rangle$, то $\langle b_{21} \rangle$ і/або ... і/або $\langle b_{2n} \rangle$,

.....

L_k : якщо $\langle a_{k1} \rangle$ і/або $\langle a_{k2} \rangle$ і/або ... і/або $\langle a_{km} \rangle$, то $\langle b_{k1} \rangle$ і/або ... і/або $\langle b_{kn} \rangle$,

де $\langle a_{ij} \rangle$, $i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, m$ – складені нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вхідних лінгвістичних змінних, а $\langle b_{ij} \rangle$, $i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, n$ – нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вихідних лінгвістичних змінних. Така сукупність правил носить назву нечіткої бази знань.

Отже, нечіткою базою знань називається сукупність нечітких правил "якщо – то", які визначають взаємозв'язок між входами та виходами об'єкта, що досліджується. Потім за допомогою правил перетворення диз'юнктивної та кон'юнктивної форм опис системи можна привести до вигляду:

L_1 : якщо $\langle A_1 \rangle$, то $\langle B_1 \rangle$,

L_2 : якщо $\langle A_2 \rangle$, то $\langle B_2 \rangle$,

.....

L_k : якщо $\langle A_k \rangle$, то $\langle B_k \rangle$,

де A_1, A_2, \dots, A_k – нечіткі множини, задані на декартовому добутку X універсальних множин вхідних лінгвістичних змінних; B_1, B_2, \dots, B_k – нечіткі множини, задані на декартовому добутку Y універсальних множин вихідних лінгвістичних змінних.

Сукупність імплікацій $\{L_1, L_2, \dots, L_k\}$ відображає функціональний взаємозв'язок вхідних та вихідних змінних та явищ основою побудови узагальненого нечіткого відношення R , заданого на добутку $X \times Y$ універсальних множин вхідних та вихідних змінних.

В основі побудови логіко-лінгвістичних систем лежить композиційне правило виводу Заде, яке формулюється наступним чином: якщо на множині X задана нечітка множина A , то композиційне правило виводу $B = A \bullet R$, де R – нечітке відношення, яке задає нечітку імплікацію, визначає на Y нечітку множину B з функцією приналежності:

$$\mu_B(y) = \bigcup_{x \in X} [\mu_A(x) \cap \mu_R(x, y)].$$

Отже, композиційне правило виводу в цьому випадку задає закон функціонування нечіткої моделі системи.

Переваги даної моделі в її універсальності. Нам неважливо, що на вході – конкретні числові значення або деяка невизначеність, що описується нечіткою множиною. Проте за дану універсальність доводиться розплачуватися складністю системи – доводиться працювати в просторі розмірності $m \times n$. Тому дану загальну модель на практиці використовують досить рідко. Як правило використовують її спрощену версію, що називається нечітким виведенням. Таке виведення ґрунтується на припущенні, що всі вхідні лінгвістичні змінні мають відомі нам числові значення (що часто буває на практиці). Також, як правило не використовують більше однієї вихідної лінгвістичної змінної.

Нечітке виведення

Нечітким логічним виведенням (fuzzy logic inference) називається апроксимація залежності $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$ кожної вихідної лінгвістичної змінної від вхідних лінгвістичних змінних та отримання висновку у вигляді нечіткої множини, з використанням нечіткої бази знань і нечітких операцій. Основою нечіткого логічного виведення є композиційне правило Заде. В загальному випадку нечітке виведення розв'язку проходить за три (або чотири) кроки:

1) етап фазифікації. За допомогою функцій приналежності всіх термів вхідних лінгвістичних змінних та на основі заданих чітких значень з універсумів вхідних лінгвістичних змінних визначається степінь впевненості в тому, що вихідна лінгвістична змінна приймає значення – конкретний терм;

2) етап безпосереднього нечіткого виведення. На основі набору правил – нечіткої бази знань – обчислюється значення істинності для передумови кожного правила на основі конкретних нечітких операцій, що відповідають кон'юнкції або диз'юнкції термів в лівій частині правил. У більшості випадків це або максимум, або мінімум зі степенів упевненості термів, які обчислюються на етапі фазифікації та застосовуються до висновку кожного правила. Використовуючи один із способів побудови нечіткої імплікації, можемо отримати нечітку

змінну, яка відповідає обчисленому значенню степеня впевненості в лівій частині правила, а також нечіткій множині в правій частині правила. Як правило, в якості виводу використовується мінімізація або правила продукції. При мінімізуючому логічному виводі, вихідна функція приналежності обмежена зверху у відповідності з обчисленим степенем істинності посилення правила (нечітке логічне «І»). В логічному виведенні з використанням продукції, вихідна функція приналежності масштабується за допомогою обчисленої степені істинності передумови правила;

3) етап композиції (агрегації, акумуляції). Всі нечіткі множини, назначені для кожного терму кожною вихідною лінгвістичною змінною об'єднуються разом і формують єдину нечітку множину – значення для кожної вивідної лінгвістичної змінної. Як правило, використовують функції MAX або SUM;

4) етап дефазифікації. (необов'язковий). Використовується тоді, коли корисно перетворювати нечіткий набір значень вивідних лінгвістичних змінних у точні значення. Існує достатньо багато методів переходу до точних значень. Два із загальних методів – це «метод повної інтерпретації» та «по максимуму». В методі повної інтерпретації, точне значення вивідних змінних обчислюється як значення "центра тяжіння" функції приналежності для нечіткого значення. В методі максимуму в якості точного значення вивідної змінної приймається максимальне значення функції приналежності.

Функціональна схема процесу нечіткого виведення в спрощеному вигляді показана на рисунку. На схемі зображено виконання першого етапу нечіткого виведення – фазифікації – здійснює фазифікатор. За процедуру нечіткого виводу відповідає машина нечіткого логічного виводу, яка робить другий етап процесу виведення на основі заданої нечіткої бази знань (набору правил) та етап композиції. Дефазифікатор виконує останній етап нечіткого виводу – дефазифікацію.

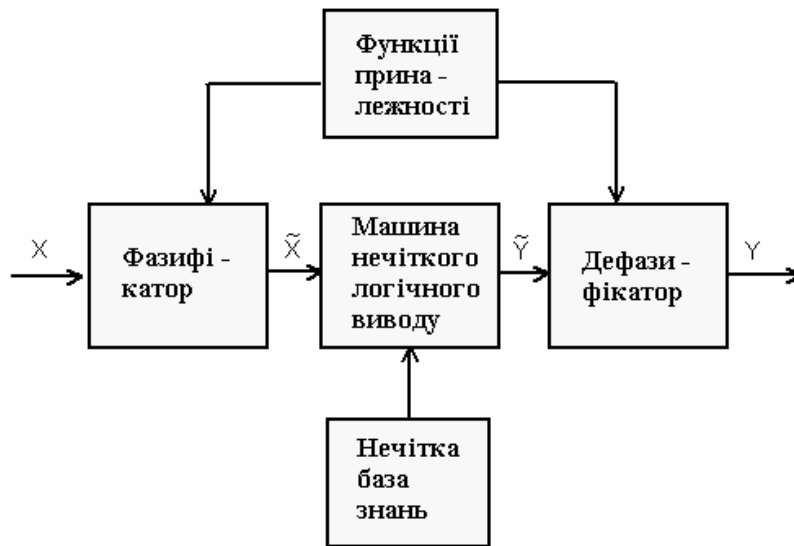
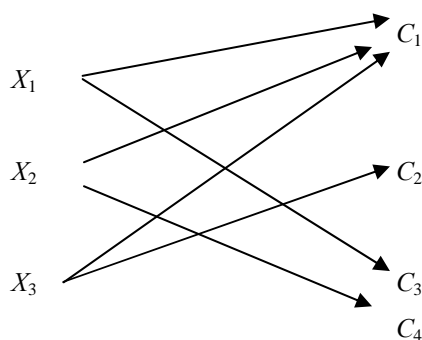


Рисунок. Нечіткий логічний вивід

Цей підхід може бути використаний при виборі “найбільш підходячого” об’єкта (або об’єктів) із деякої множини об’єктів за їх нечіткими характеристиками з метою побудови логічної схеми для обґрунтування самого процесу логічного виведення. Такі задачі виникають у різних експертних системах, зокрема в розробленій експертно-діагностичній системі Гомеопат [2] у зв’язку з визначенням діагнозу і призначенням лікувальних препаратів.

Задача вибору в нечіткій постановці формулюється наступним чином. Нехай існує деяка множина об’єктів $X = \{X_1, X_2, \dots, X_k\}$ і деяка множина їх характеристик $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$, причому між цими множинами існує відношення типу $(\infty : \infty)$, тобто для кожного елемента множини X може існувати декілька характеристик і навпаки, один і той же елемент множини C може бути характеристикою декількох об’єктів. Таке відношення між елементами зазначених множин можна подати у вигляді діаграми, показаної далі. При цьому стрілки, що сполучають вузли X_i і C_j , означають, що об’єкт X_i має характеристику C_j .



Така діаграма може бути задана нечіткою підмножиною R декартового добутку $X \times C$, яка визначається як

$$R = \int_{x \times C} \mu_R(x, c)/(x, c),$$

де $\mu_R(x, c) = 1$, якщо об'єкт x має характеристику c і $\mu_R(x, c) = 0$ – в іншому випадку. Відповідно об'єкт X_i з множиною характеристик C можна визначити як

$$R = \int_C \mu_R(X_i, c)/(X_i, c).$$

Нехай $C, C' \subseteq C$ – повна і нечітка множина характеристик об'єкта $X_i \subseteq X$ відповідно. Покладемо $\mu(X_i, C) = 0$, якщо в об'єкта X_i нема характеристик C і розглянемо дві нечіткі множини

$$R = \int_C 1/(X_i, c) \text{ і } R_1 = \int_C \mu(X_i, c)/(X_i, c),$$

які визначають об'єкт X_i і деяке його наближення щодо множини C' .

Коефіцієнтом близькості наближення об'єкта щодо множини C' до самого об'єкта назвемо величину

$$\beta(C') = \int_C (1 - \mu(X_i, c))^{1/2}.$$

Задача полягає у тому, щоб за наявними нечіткими характеристиками знайти наближення з мінімальним коефіцієнтом близькості. В роботі [3] показано, що чим більше характеристик виявлено в об'єкта і чим більші степені належності у характеристик, тим точніше можна визначити об'єкт.

Висновок

У рамках робіт з розробки експертної системи Гомеопат реалізовано поняття лінгвістичної змінної, створено тестовий прототип діагностичної системи, де програмні компоненти розроблені за допомогою мов PHP та HTML, а БЗ створена за допомогою MS SQL. Прототип підтверджує, що обрані методи розв'язування і способи подання знань придатні для успішного розв'язання, принаймні, більшості задач з актуальної предметної області.

1. Zadaeh L. A. Fuzzy Sets, Information and kontrol. – 1965. – 8. – P. 338 – 353.
2. Проватар А.И., Дудка Т.Н., Гошко Б.М. Применение метода резолюций на семантических сетях // Проблемы программирования. – 000. – № 1–2. – С. 453–459.
3. Дудка Т.Н., Проватар А.И. Применение нечетких множеств и уровневых чисел для решения задачи выбора // Проблемы программирования. – 2001. – № 1. – С. 21–26.