

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ

Лабораторний практикум

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістр
за освітньою програмою «Комп'ютерні науки»
спеціальності 122 Комп'ютерні науки

Укладач: О.М. Шушура

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2023

УДК 519.68:004.896

Ш98

Укладач: *Шушура Олексій Миколайович*, д-р техн. наук, доц.

Рецензент *Тимошенко Ю.О.*, канд. техн. наук., доц.,
доцент кафедри математичних методів системного аналізу

Відповідальний
редактор *Сегеда І.В.*, канд. економ. наук, доцент

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 3 від 07.12.2023 р.)
за поданням вченої ради Навчально наукового інституту теплової та атомної енергетики
(протокол № 4 від 28.11.2023 р.)*

Ш98 **Нечітке моделювання та управління** [Електронний ресурс] : лаб. практикум : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістра за освіт. програмою «Комп'ютерні науки» спец. 122 Комп'ютерні науки / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. М. Шушура. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 42 с.

В навчальному посібнику наведено завдання, необхідний теоретичний матеріал та інструкції до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Нечітке моделювання та управління». Навчальний посібник призначений для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки та інших спеціальностей галузі знань 12 Інформаційні технології, які вивчають нечітку логіку та її застосування в задачах моделювання та управління.

УДК 519.68:004.896

Реєстр. № НП XX/XX-XXX. Обсяг 1,7 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА «РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ БАЗОВИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ НЕЧІТКИХ МНОЖИН»	6
1.1. Мета та завдання лабораторної роботи № 1	6
1.2. Основні теоретичні відомості за темою лабораторної роботи № 1	8
1.2.1. Поняття нечіткої множини та її властивості	8
1.2.2. Операції над нечіткими множинами	10
1.2.3. Поняття нечіткого числа. Операції над нечіткими числами	12
1.2.4. Основні види нечітких чисел та операції над ними	13
1.3. Порядок та рекомендації щодо виконання лабораторної роботи № 1	17
1.4. Вимоги до програмної реалізації завдань лабораторної роботи № 1	18
1.5. Вимоги до звіту по лабораторній роботі № 1	18
1.6. Контрольні питання до лабораторної роботи № 1	19
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ»	20
2.1. Мета та завдання лабораторної роботи № 2	20
2.2. Основні теоретичні відомості за темою лабораторної роботи № 2	22
2.2.1. Структура моделі на засадах нечіткої логіки	22
2.2.2. Концептуальне моделювання задач нечіткого управління	26
2.2.3. Алгоритм нечіткого логічного виведення	33
2.2.4. Методи нечіткого управління та прийняття рішень	35
2.3. Порядок та рекомендації щодо виконання лабораторної роботи № 2	37
2.4. Вимоги до програмної реалізації завдань лабораторної роботи № 2	38
2.5. Вимоги до звіту по лабораторній роботі № 2	38
2.6. Контрольні питання до лабораторної роботи № 2	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	41

ВСТУП

Fuzzy logic є одним з найбільш популярних засобів штучного інтелекту, який знайшов широке застосування в сучасних технічних та програмних системах, починаючи з побутових приладів і закінчуючи управлінням космічними апаратами. Завдяки простоті застосування та наближенню до людської логіки, fuzzy системи характеризуються високою швидкістю розробки при хороших показниках результатів впровадження. Тому фахівці, які планують розробляти програмне забезпечення для інтелектуальних комп'ютерних систем, мають володіти методикою нечіткого моделювання та управління.

Метою дисципліни є опанування студентами основних понять, методів, алгоритмів та програмного забезпечення для розв'язку задач нечіткого моделювання, управління та підтримки прийняття рішень.

В результаті вивчення дисципліни у студентів повинні сформуватися наступні компетентності:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу;
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях;
- здатність формалізувати предметну область певного проекту у вигляді відповідної інформаційної моделі;
- здатність використовувати математичні методи для аналізу формалізованих моделей предметної області;
- здатність застосовувати існуючі і розробляти нові алгоритми розв'язування задач у галузі комп'ютерних наук, оцінювати їх ефективність;
- здатність розробляти програмне забезпечення на основі моделей процесів та систем з використанням нечіткої логіки.

Після закінчення вивчення навчальної дисципліни студенти повинні продемонструвати наступні програмні результати навчання:

- проектувати інформаційні або комп'ютерні системи;
- використовувати математичні методи для аналізу поведінки інформаційних моделей;
- створювати нові алгоритми розв'язування задач у галузі комп'ютерних наук;
- знати основні поняття теорії нечітких множин, нечіткого моделювання і управління;
- вміти розробляти програмне забезпечення для управління та прийняття рішень на основі моделей процесів і систем на засадах нечіткої логіки.

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА «РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ БАЗОВИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ НЕЧІТКИХ МНОЖИН»

1.1. Мета та завдання лабораторної роботи № 1

Метою лабораторної роботи є поглиблення знань студентів з основних характеристик нечітких множин та їх класифікації, виконання операцій над нечіткими множинами та нечіткими числами, формування вмінь розробляти програмне забезпечення для реалізації операцій над нечіткими множинами та числами [7].

Студент має виконати наступні завдання лабораторної роботи.

1. Визначити номер варіанту V за формулою:

$$V = g + k + 1, \quad (1.1)$$

де g – остання цифра у номері студентського квитка, а k – передостання.

2. Сформувати нечіткі множини A та B , використовуючи формули:

$$A = \left\{ \left\langle i, \frac{i}{V} \right\rangle \right\}, \quad i = \overline{0, V} \quad (1.2)$$

$$B = \left\{ \left\langle 0.5 * i, \frac{i}{4V} \right\rangle \right\}, \quad i = \overline{0, V} \quad (1.3)$$

3. Розробити алгоритми (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML) та програмне забезпечення для визначення для нечіткої множини висоти, моди, носія, ядра, множини α -рівня. Провести тестування програмного

забезпечення для нечітких множин A і B , сформованих при виконанні першого пункту завдання.

4. Розробити алгоритми (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML) та програмне забезпечення для виконання операцій об'єднання, перетину та доповнення скінчених нечітких множин. Реалізацію операцій об'єднання та перетину обрати для свого варіанту таким чином:

- а) визначити параметр T як остачу від ділення номера варіанту V на 3;
- б) Якщо T дорівнює 0, то обрати максимінну реалізацію операцій об'єднання та перетину нечітких множин;
- с) якщо $T=1$, то обрати алгебраїчну;
- д) якщо $T=2$, то обрати обмежену.

Провести тестування програмного забезпечення для нечітких множин A і B , сформованих при виконанні першого пункту завдання.

5. Розробити алгоритми (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML) та програмне забезпечення для виконання операцій додавання, віднімання, множення та ділення над нечіткими числами принципу узагальнення Заде. Провести тестування програмного забезпечення для нечітких чисел A і B , сформованих при виконанні першого пункту завдання.

6. Розробити алгоритми (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML) та програмне забезпечення для виконання операцій додавання, віднімання, множення та ділення над трикутними та трапецієподібними нечіткими числами. Провести тестування програмного забезпечення для трикутних нечітких чисел, обчислених як $(V-T-1, V, V+T+1)$ та $(2V-T, 2V+1, 2V+5)$, і для трапецієподібних нечітких чисел, обчислених як $(V-T-2, V, V+0,5, V+T+2)$ та $(2V-T-1, 2V, 2V+1, 2V+3)$.

1.2. Основні теоретичні відомості за темою лабораторної роботи № 1

1.2.1. Поняття нечіткої множини та її властивості

Формалізація поняття нечіткої множини базується на узагальненні поняття належності елемента до множини. У звичайній теорії множин існує кілька способів завдання множини. Одним з цих способів є завдання множини її характеристичною функцією, що визначається так. Позначимо U базову чи як ще називають універсальну множину (універсум), що є звичайною множиною, з елементів якої формуються всі інші множини, які розглядаються в певному класі задач. В якості прикладу універсуму можуть бути: множина цілих чисел, множина студентів навчального закладу й т.п. Характеристична функція множини $A \subseteq U$ - це функція μ_A , значення якої вказують, чи є $x \in U$ елементом множини A [2,5]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \in A, \\ 0, & \text{якщо } x \notin A. \end{cases} \quad (1.4)$$

З точки зору характеристичної функції, нечіткі множини є природним узагальненням звичайних множин, коли замість бінарного характеру цієї функції припускають, що вона приймає значення з відрізка $[0,1]$. В межах теорії нечітких множин ця характеристична функція називається **функцією належності**, а її значення $\mu_A(x)$ - ступенем належності елемента x нечіткій множині A .

Нечіткою множиною A називають сукупність впорядкованих пар:

$$A = \{\langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U\}, \quad (1.5)$$

де μ_A - функція належності, тобто $\mu_A : U \rightarrow [0,1]$.

Нехай, наприклад, універсальна множина задана як $U = \{a, b, c, d, e\}$, а на її основі сформована нечітка множина A у вигляді:

$$A = \{\langle a, 0 \rangle, \langle b, 0,1 \rangle, \langle c, 0,5 \rangle, \langle d, 0,9 \rangle, \langle e, 1 \rangle\}.$$

Будемо говорити, що елемент a не належить нечіткій множині A , елемент b належить їй в малій ступені (бо значення його ступеня належності множині дорівнює 0,1), елемент c належить зі ступенем належності 0,5 (тобто більш-менш належить), елемент d належить множині майже напевно, e точно є елементом множини.

Носієм нечіткої множини A називається чітка множина $\tilde{A}$ таких елементів з U , для яких величина $\mu_A(x)$ додатна, тобто $\tilde{A} = \{x | \mu_A(x) > 0\}$.

Висотою нечіткої множини A називається величина $\sup_U \mu_A(x)$. Якщо функція належності є неперервною або універсум є скінченою множиною, то висота нечіткої множини визначається як максимальне значення її функції належності [5,6]. Нечітка множина A називається **нормальною**, якщо її висота дорівнює 1. В іншому випадку вона називається **субнормальною**.

Модою нечіткої множини називається елемент універсуму, значення функції належності якого дорівнює висоті нечіткої множини. Нечітка нормальна множина називається унімодальною, коли вона має лише одну моду.

Нечітка множина називається **порожньою**, якщо $\forall x \in U \mu_A(x) = 0$ (тобто для всіх елементів універсума значення функції належності нечіткої множини дорівнює нулю). Очевидно, що в даному універсумі U існує єдина порожня нечітка множина. Нечітка множина, що не містить жодного елементу (порожня множина), як і в теорії звичайних множин позначається через $\emptyset$.

Множиною рівня α (α -зрізом) нечіткої множини A називається чітка підмножина універсальної множини U , що визначається за формулою:

$$A_\alpha = \{x | \mu_A(x) \geq \alpha\}, \text{ де } \alpha \in [0,1]. \quad (1.6)$$

Множина строгого рівня α визначається у вигляді $A_\alpha = \{x | \mu_A(x) > \alpha\}$. Зокрема, *носієм нечіткої множини* є множина елементів універсума, для яких $\mu_A(x) > 0$.

Ядром нечіткої множини A називається така чітка множина A_1 , елементи якої задовольняють умові:

$$A_1 = \{x \in U | \mu_A(x) = 1\}. \quad (1.7)$$

1.2.2. Операції над нечіткими множинами

Над нечіткими множинами можна виконувати різні операції, при цьому їх визначено так, щоб в окремому випадку, коли множина є чіткою, операції переходили в звичайні операції теорії множин, тобто операції над нечіткими множинами узагальнюють відповідні операції над звичайними множинами. Враховуючи, що узагальнення може бути виконане різними способами, операціям над звичайними множинами відповідає кілька варіантів реалізації операцій в теорії нечітких множин.

Як й для звичайних множин, над нечіткими множинами можуть бути виконані операції: визначення відношення вкладення, рівності, перетину (добутку) нечітких множин та об'єднання (суми) нечітких множин, доповнення нечіткої множини.

Для визначення вкладення та рівності нечітких множин A та B , заданих на однаковому універсумі U застосовуються формули [6]:

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \text{ для } \forall x \in U, \quad (1.8)$$

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \text{ для } \forall x \in U. \quad (1.9)$$

Операції об'єднання, перетину та доповнення визначаються для нечітких множин через операції над функціями належності їх елементів.

Для визначення об'єднання і перетину нечітких множин найбільшою популярністю користуються такі три варіанти реалізації операцій:

а) максимінна:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \quad \mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}. \quad (1.10)$$

б) алгебраїчна:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x), \quad (1.11)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x)\mu_B(x). \quad (1.12)$$

в) обмежена:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}, \quad (1.13)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}. \quad (1.14)$$

Доповнення нечіткої множини $\bar{A}$ у всіх трьох варіантах реалізації визначається однаково:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x). \quad (1.15)$$

1.2.3. Поняття нечіткого числа. Операції над нечіткими числами

Нечітким числом називається задана на множині дійсних чисел нечітка множина, що має нормальну і опуклу функцію належності, тобто таку, що [6]:

- а) існує значення елемента, в якому функція належності дорівнює одиниці;
- б) при зміщенні від свого максимуму вліво чи вправо функція належності не зростає.

Нечітке число A називається **нечітким нулем**, якщо

$$\mu_A(0) = \sup_x (\mu_A(x)). \quad (1.16)$$

Підмножина $S_A \subseteq R$ називається **носієм нечіткого числа** A , якщо

$$S_A = \{x | \mu_A(x) > 0\}. \quad (1.17)$$

Відповідно до принципу узагальнення Заде введено поняття арифметичних операцій для нечітких чисел. Для довільних нечітких чисел A, B, C і для будь-яких чисел $x, y, z \in R$ операції додавання, віднімання, множення та ділення реалізуються наступним чином (символ $*$ позначає кожен з цих операцій):

$$C = A * B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \sup_{z=x*y} (\min(\mu_A(x), \mu_B(y))). \quad (1.18)$$

Функція *sup* для скінчених нечітких множин та безперервних функцій належності обчислюється як максимум мінімумів для всіх можливих пар значень x та y , які утворюють значення $z=x*y$, для якого визначається значення функції належності.

Розглянемо приклад виконання операції над нечіткими числами. Нехай дані нечіткі числа $A = \{\langle 1|0,4 \rangle, \langle 3|0,9 \rangle\}$ та $B = \{\langle 0|0,3 \rangle, \langle 2|0,6 \rangle\}$. Необхідно знайти нечітке число $C=A+B$. Універсум нечіткої множини C складається з усіх можливих варіантів сум елементів універсумів нечітких множин A та B . Необхідно знайти їх та обчислити відповідні значення функції належності по формулі (1.18).

$$1) z = 1+0=1.$$

$$\mu_C(1) = \max_{z=1}(\min(\mu_A(1), \mu_B(0))) = \max_{z=1}(\min(0,4; 0,3)) = 0,3.$$

$$2) z = 1+2=3+0=3.$$

$$\begin{aligned} \mu_C(3) &= \max_{z=3}(\min(\mu_A(1), \mu_B(2)), \min(\mu_A(3), \mu_B(0))) = \\ &= \max_{z=3}(\min(0,4; 0,6), \min(0,9; 0,3)) = 0,4. \end{aligned}$$

$$3) z = 3+2=5.$$

$$\mu_C(5) = \max_{z=5}(\min(\mu_A(3), \mu_B(2))) = \max_{z=5}(\min(0,9; 0,6)) = 0,6.$$

Таким чином, нечітка множина $C = \{\langle 1|0,3 \rangle, \langle 3|0,4 \rangle, \langle 5|0,6 \rangle\}$.

1.2.4. Основні види нечітких чисел та операції над ними

При вирішенні задач моделювання нечітких систем можна використовувати нечіткі числа (L-R)-типу, які мають більш просту реалізацію операцій.

Нечіткі числа (L-R)-типу є спеціальним видом нечітких чисел, які задаються за певними правилами для зниження обсягу обчислень при виконанні операцій над ними.

Функції належності для нечітких чисел (L-R)-типу задаються з використанням незростаючих на множині невід'ємних чисел функцій дійсної змінної $L(x)$ і $R(x)$, що задовольняють властивостям:

$$\text{а) } L(-x) = L(x), \quad R(-x) = R(x);$$

$$\text{б) } L(0) = R(0).$$

Нехай $L(y)$ та $R(y)$ – функції (L-R)-типу. Унімодальне нечітке число A з модою a (тобто $\mu_A(a) = 1$) можна задати наступним чином:

$$\mu_{A_{LR}}(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a-x}{\alpha}\right), & \text{якщо } x \leq a, \\ R\left(\frac{x-a}{\beta}\right), & \text{якщо } x \geq a, \end{cases} \quad (1.19)$$

де a - мода; $\alpha > 0$, $\beta > 0$ - лівий і правий коефіцієнти нечіткості.

Таким чином, при заданих $L(y)$ та $R(y)$ унімодальне нечітке число A задається трійкою $(a; \alpha, \beta)$.

Унімодальні нечіткі числа (L-R)-типу називають трикутними числами. Трикутні числа формалізують висловлювання типу "приблизно дорівнює a ". Ясно, що $a \pm \delta \approx a$, причому при зниженні δ до нуля ступінь впевненості в оцінці величини зростає до одиниці. Трикутні нечіткі числа є одним типів нечітких чисел, що використовується найбільш часто.

На практиці часто використовується альтернативне визначення нечіткого трикутного числа.

Трикутним нечітким числом A називається нечітке число, представлене трійкою дійсних чисел $\langle a, b, c \rangle$, де $(a \leq b \leq c)$, через які його функція належності визначається наступним чином [6]:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } x \leq a \text{ або } x \geq c, \\ \frac{x-a}{b-a}, \text{ якщо } a \leq x \leq b, \\ \frac{c-x}{c-b}, \text{ якщо } b \leq x \leq c. \end{cases} \quad (1.20)$$

Друге число b трійки $\langle a, b, c \rangle$ зазвичай називають модою або чітким значенням нечіткого трикутного числа. Числа a і c визначають так званий ступінь розмитості числа.

При завданні функції належності трикутного нечіткого числа не завжди потрібно використовувати лише лінійні функції. Часто в різних практичних застосуваннях використовуються дві функції, з яких одна монотонно зростає на інтервалі $[a, b]$, а друга монотонно убыває на інтервалі $[b, c]$. Таким чином, без зниження рівня узагальненості, кожне трикутне нечітке число може бути представлено впорядкованою трійкою дійсних чисел.

Якщо $A = \langle a_A, b_A, c_A \rangle$ і $B = \langle a_B, b_B, c_B \rangle$ є трикутними нечіткими числами, то, згідно з принципом узагальнення Заде, нечітке число $C = A * B$ також є трикутним і характеризується трійкою $\langle a_C, b_C, c_C \rangle$, де:

$$a_C = \min\{a_A * a_B, a_A * c_B, c_A * a_B, c_A * c_B\}, \quad (1.21)$$

$$c_C = \max\{a_A * a_B, a_A * c_B, c_A * a_B, c_A * c_B\}, \quad (1.22)$$

$$b_C = b_A * b_B. \quad (1.23)$$

Під * розуміються операції додавання, віднімання, множення та ділення.

Однак в деяких випадках при оцінках параметрів використовуються не конкретні значення, а певні інтервали. Наприклад, при оцінці тривалості виконання задачі по проекту може бути отримана оцінка «потрібно від 15 до 20 годин робочого часу». Для формалізації подібних значень використовують так звані трапецієподібні нечіткі числа, які також називають нечіткими інтервалами.

Трапецієподібним нечітким числом (нечітким інтервалом)

$A = \langle a, b, c, d \rangle$ називається нечітке число із трапецієподібною функцією належності:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } x \leq a, \\ \frac{x-a}{b-a}, \text{ якщо } a \leq x \leq b, \\ 1, \text{ якщо } b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, \text{ якщо } c \leq x \leq d \\ 0, \text{ якщо } x \geq d. \end{cases} \quad (1.24)$$

Арифметичні операції над двома трапецієподібними нечіткими числами $A = \langle a_A, b_A, c_A, d_A \rangle$ та $B = \langle a_B, b_B, c_B, d_B \rangle$ виконуються за правилами:

1) додавання

$$\langle a_A, b_A, c_A, d_A \rangle + \langle a_B, b_B, c_B, d_B \rangle = \langle a_A + a_B, b_A + b_B, c_A + c_B, d_A + d_B \rangle; \quad (1.25)$$

2) віднімання

$$\langle a_A, b_A, c_A, d_A \rangle - \langle a_B, b_B, c_B, d_B \rangle = \left\langle \begin{matrix} a_A - b_B - d_B + c_B \\ b_A - b_B \\ c_A - c_B \\ d_A + b_B - a_B - c_B \end{matrix} \right\rangle; \quad (1.26)$$

3) множення

$$\langle a_A, b_A, c_A, d_A \rangle \cdot \langle a_B, b_B, c_B, d_B \rangle = \begin{pmatrix} b_A \cdot a_B - b_A \cdot b_B + a_A \cdot b_B \\ b_A \cdot b_B \\ c_A \cdot c_B \\ c_A \cdot d_B - c_A \cdot c_B + d_A \cdot c_B \end{pmatrix}; \quad (1.27)$$

4) ділення

$$\langle a_A, b_A, c_A, d_A \rangle / \langle a_B, b_B, c_B, d_B \rangle = \begin{pmatrix} (b_A \cdot c_B - b_A \cdot d_B + a_A \cdot c_B) / c_B^2 \\ b_A / c_B \\ c_A / b_B \\ (c_A \cdot b_B - c_A \cdot a_B + d_A \cdot b_B) / b_B^2 \end{pmatrix}. \quad (1.28)$$

Існують також інші підходи до завдання операцій над трикутними та трапецієвидними нечіткими числами, з якими можна ознайомитися у спеціальній літературі.

1.3. Порядок та рекомендації щодо виконання лабораторної роботи № 1

1. Повторити матеріал по темі роботи, використовуючи конспект лекцій, рекомендовану літературу та матеріали даного навчального посібника.
2. Визначити номер варіанта та сформулювати своє індивідуальне завдання.
3. Розробити алгоритми вирішення завдань.
4. Розробити програмне забезпечення для розв'язання завдань та провести його тестування.
5. Оформити звіт з роботи відповідно до наведених нижче вимог.
6. Відповісти на контрольні питання по роботі, наведені в посібнику.

1.4. Вимоги до програмної реалізації завдань лабораторної роботи № 1

Обмежень щодо застосування мов програмування в даній роботі немає. Основною вимогою до вибору мови програмування є можливість реалізації за її допомогою алгоритмів для вирішення завдань. Інтерфейс користувача може бути реалізований як в вигляді консолі, так і як графічний інтерфейс чи вебінтерфейс. Однак при будь-якій реалізації інтерфейсу він має бути зручним і містити необхідну інформацію й підказки при введенні даних та при виведенні результатів.

1.5. Вимоги до звіту по лабораторній роботі № 1

Звіт з лабораторної роботи має містити:

- титульний аркуш відповідно до вимог оформлення робіт кафедри;
- розрахунок варіанта роботи та завдання відповідно до варіанту;
- опис формул та алгоритмів розв’язку завдань (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML);
- лістинг розробленої програми з коментарями, що містять пояснення щодо виконуваних функцій та завдань, до яких вони відносяться;
- результати роботи програми для тестових прикладів у вигляді знімків екрану з підписами рисунків відповідно до вимог щодо оформлення робіт кафедри;
- висновки щодо функціональних можливостей розробленого програмного забезпечення та можливість його використання на підставі результатів тестування.

Підготовлений звіт в форматі файлу .doc, .docx або .pdf надсилається на електронну пошту викладача, що веде лабораторні заняття, або надається йому в роздрукованому вигляді.

1.6. Контрольні питання до лабораторної роботи № 1

Підготуйте відповіді на наведені нижче питання щодо матеріалу лабораторної роботи.

1. Що таке функція належності та нечітка множина?
2. В чому відмінність нечітких множин від звичайних множин?
3. Які характеристики нечіткої множини ви знаєте та як вони визначаються?
4. Що таке нормальна нечітка множина?
5. Що таке унімодальна нечітка множина?
6. Наведіть основні операції над нечіткими множинами та варіанти їх реалізації.
7. Як визначаються узагальнені оператори трикутної норми та конорми? Наведіть їх приклади.
8. Що таке нечітке число? Чим нечіткі числа відрізняються від інших нечітких множин?
9. Як у загальному вигляді задаються операції над нечіткими числами?
10. Що таке нечітке число (L-R)-типу? Які особливості цих чисел?
11. Які види нечітких чисел (L-R)-типу ви знаєте?
12. В чому відмінність трикутних нечітких чисел від трапецієвидних нечітких чисел (нечітких інтервалів)?

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «РОЗРОБКА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОГО УПРАВЛІННЯ»

2.1. Мета та завдання лабораторної роботи № 2

Метою лабораторної роботи є поглиблення знань студентів з побудови моделей предметних областей, формалізації та вирішення задач управління і підтримки прийняття рішень на засадах нечіткої логіки, формування вмінь з розробки програмного забезпечення для реалізації алгоритмів нечіткого управління на основі нечіткого логічного виведення.

Студент має виконати наступні завдання лабораторної роботи.

1. Визначити номер варіанту V за формулою:

$$V = g + 1, \quad (2.1)$$

де g – остання цифра у номері студентського квитка.

2. Відповідно до номеру варіанту обрати для реалізації процес зі списку:

- 1) управління системою опалення будинку (на основі відхилення від заданої температури);
- 2) вибір безпечної швидкості автомобіля в залежності від дорожніх умов;
- 3) управління подачею гарячої та холодної води для підтримання заданої температури води в душі;
- 4) оцінка вартості житла;

- 5) управління кондиціонером (температура, дуття) для регулювання температури в приміщенні;
- 6) класифікація університетів (в залежності від контингенту студентів, площ....);
- 7) оцінка вартості автомобіля;
- 8) класифікація вакансій на роботу по привабливості;
- 9) оцінка дачної земельної ділянки;
- 10) класифікація смартфонів.

3. Виконати концептуальний опис задачі нечіткого управління та прийняття рішень. Для цього визначити вхідні та вихідні лінгвістичні змінні та їх терми, сформувані базу знань для нечіткого логічного виведення та представити їх у вигляді відповідних схем та діаграм.

4. Обрати алгоритм нечіткого логічного виведення для реалізації задачі та навести його опис у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML. Зазначити в алгоритмах правила виконання операцій фазифікації, активізації, агрегування та дефазифікації.

5. Розробити на основі алгоритмів програмне забезпечення для виконання автоматизації вирішення задачі. Провести тестування програмного забезпечення для кількох тестових прикладів, виконати аналіз отриманих результатів.

2.2. Основні теоретичні відомості за темою лабораторної роботи № 2

2.2.1. Структура моделі на засадах нечіткої логіки

Моделі на засадах нечіткої логіки (нечіткі моделі) будуються у випадках, коли розробка звичайних моделей дуже складна або неможлива через наявність невизначеності, неповноти чи недостовірності інформації про процеси об'єкту, що моделюється. Узагальнена структура нечіткої моделі у відносно спрощеному вигляді представлена на рисунку 2.1.

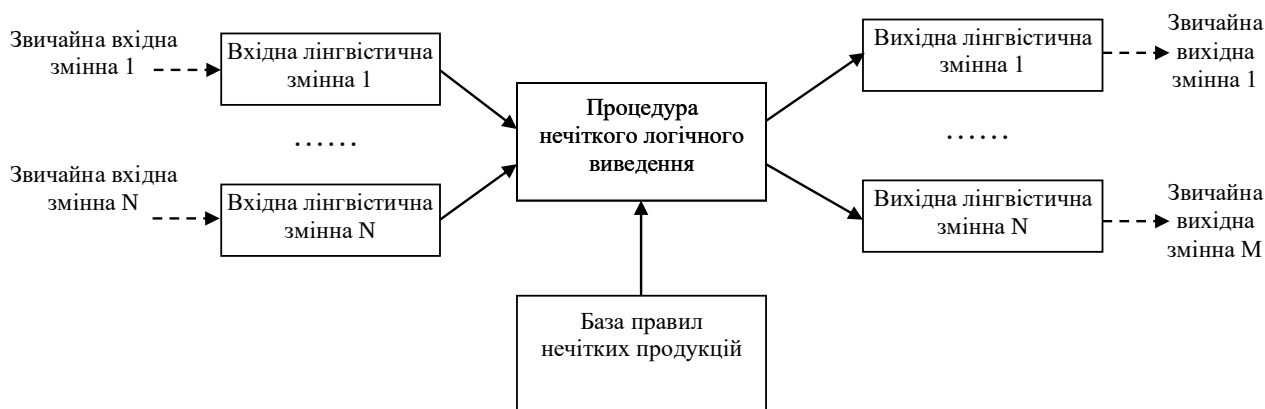


Рисунок 2.1 – Узагальнена структура нечіткої моделі

Для об'єкту моделювання визначаються вхідні та вихідні змінні, що можуть бути виміряні та мають числові значення. Кожній звичайній вхідній та вихідній змінній співставляються лінгвістичні змінні.

Лінгвістична змінна по своїй суті відрізняється від звичайної числової змінної тим, що її значеннями виступають не числа, а слова або речення в деякій мові (природній чи формальній). При прийнятті рішень та в описі різних життєвих ситуацій люди дуже часто використовують лінгвістичні вирази, що стали прообразом поняття лінгвістичної змінної. Наприклад, у фразі «якщо на

вулиці холодно, одягни теплу куртку» в якості значення змінної температури використане значення «холодно», а для оцінки теплопровідності куртки застосоване значення «тепла». Ці значення можна розглядати як назви нечітких множин (в даному випадку нечітких чисел), заданих на певних інтервалах як універсумах (діапазон можливих значень температур на вулиці та теплопровідності одягу відповідно). Іменовані нечіткі множини отримали назву **нечітких змінних**. При використанні нечітких змінних в якості значень лінгвістичних змінних їх називають **термами**.

Більш строго поняття лінгвістичної змінної вводиться наступним чином.

Лінгвістична змінна задається набором властивостей:

$$(X, T(X), U, G, L), \quad (2.2)$$

де X - назва змінної; $T(X)$ позначає множину термів змінної X , тобто множина назв лінгвістичних значень змінної X , причому кожне з таких значень є нечіткою змінною (іменованою нечіткою множиною), що задана на універсумі U ; G - синтаксичне правило, породжує нові назви термів змінної X ; L - семантичне правило, яке задає для кожного терму нечітку множину універсумі U .

Якщо терм представлений одним словом або кількома словами, які завжди фігурують разом, то він називається атомарним термом. Складаним називається терм, що сформований з кількох атомарних термів.

У загальному випадку при побудові нечіткої моделі кілька звичайних змінних можуть бути співставлені одній лінгвістичній змінній, що призводить до необхідності використання функцій належності багатьох аргументів для термів, але в більшості практичних застосувань з метою спрощення обчислювальних процедур використовують співставлення звичайних та лінгвістичних змінних як одна до одної.

Область допустимих значень звичайних змінних виступає в якості універсальних множин лінгвістичних змінних. Також для кожної лінгвістичної змінної задається множина термів у якості її значень. На універсальних множинах лінгвістичних змінних задаються функції належності нечітких змінних термів.

Нечіткі моделі можуть бути використані для прогнозу вихідних значень об'єкту, вирішенні задач класифікації, а також при побудові пристроїв нечіткого керування.

Керування – це вплив на певний об'єкт з метою приведення його до заданого стану чи для досягнення певної мети. Узагальнена структура системи нечіткого управління представлена на рисунку 2.2.

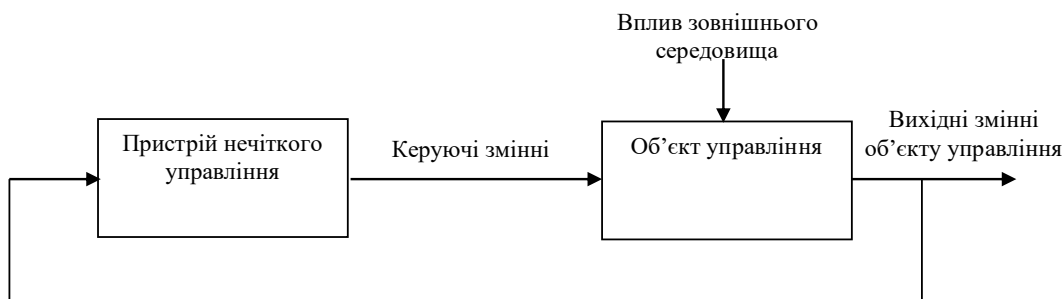


Рисунок 2.2 – Узагальнена схема системи нечіткого управління

Як видно на рисунку 2.2, до складу системи управління входить об'єкт управління і керуючий пристрій. Особливістю побудови нечіткої моделі керуючого пристрою є те, що вхідними змінними в нього виступають вихідні змінні об'єкту керування, а вихідна змінна керуючого пристрою є управляючою вхідною змінною об'єкту керування. Нечітке управління реалізується у системах зі зворотнім зв'язком. Для отримання значень вихідних змінних об'єкту керування використовуються вимірювальні пристрої, що на основі фізичних процесів формують сигнал, який обробляється пристроєм нечіткого управління.

Для розрахунку значень керуючих змінних застосовуються процедури нечіткого логічного виведення на основі бази знань у вигляді набору нечітких продукцій.

Використовуючи терми лінгвістичних змінних, формуються нечіткі продукційні правила, які відображають зв'язок між вхідними та вихідними змінними об'єкту моделювання та формують базу знань моделі. У такому підході до моделювання полягає перевага, бо замість складного математичного моделювання виконується побудова нечітких продукційних правил на основі опитування експертів. Для побудови бази правил можуть бути використані методи інженерії знань.

У загальному випадку *нечіткою продукцією* називають вираз [5,9]:

$$(i) : Q; P; A \rightarrow B; S, F, C, \quad (2.3)$$

де (i) – код або номер нечіткої продукції; Q – область використання нечіткої продукції; P – умова застосування нечіткої продукції; A – умова нечіткої продукції (антецедент); « $\rightarrow$ » – знак логічної операції походження; B – висновок нечіткої продукції; S – метод для визначення значення ступеня істинності висновку B; F – коефіцієнт визначеності або упевненості нечіткої продукції (ще його називають ваговий коефіцієнт правила), приймає значення з відрізка [0,1]; C – коментар до правила.

Головним компонентом нечіткої продукції є ядро $A \rightarrow B$, яке в більш звичайній формі представляється у вигляді «ЯКЩО A, ТО B» або «IF A, THEN B», де в якості виразів A і B можуть використовуватися елементарні або складні логічні нечіткі висловлювання. Складними висловлюваннями нечіткої логіки називають елементарні нечіткі висловлювання, поєднані нечіткими логічними операціями, до яких відносяться нечітке заперечення, нечітка диз'юнкція та нечітка кон'юнкція. Елементарне нечітке висловлювання, що використовується

в антецедентах, будується як « $X = a$ », де X – назва лінгвістичної змінної, a – один з її термів [8].

У самому спрощеному вигляді база знань у вигляді нечітких продукцій представляється як нумерований набір правил виду «IF A, THEN B», вагові коефіцієнти за замовчуванням вважаються рівними 1. Також для спрощення розрахунків у випадку формалізації складних логічних нечітких висловлювань використовують лише нечітку кон'юнкцію або лише нечітку диз'юнкцію.

Для формального опису структури нечіткої моделі та її складових використовуються методи концептуального моделювання.

2.2.2. Концептуальне моделювання задач нечіткого управління

Концептуальне моделювання застосовується для формалізації предметної області з метою подальшого погодження отриманого опису з експертами в цій галузі. В рамках методу концептуального моделювання предметних областей задач нечіткого управління необхідно використовувати наступні графічні діаграми [1,3,11]:

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

Концептуальна модель задачі нечіткого управління представляється 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. Структура моделі схематично представлена на рисунку 2.3.

Input Опис звичайних та лінгвістичних вхідних змінних	Output Опис звичайних та лінгвістичних вихідних змінних
Restrictions Опис обмежень задачі	

Рис. 2.3 – Структура концептуальної моделі задачі нечіткого управління

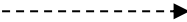
Як видно на рисунку 2.3, область моделі поділена на три частини: вхід блоку управління (Input), вихід блоку управління (Output), обмеження на управління (Restrictions). У вхідній та вихідній частинах моделі наводяться назви звичайних і лінгвістичних вхідних та вихідних змінних відповідно. У третій частині представляються обмеження на вхідні та вихідні (керуючі) змінні пристрою управління [11].

Для стандартизації представлення концептуальної моделі слід використовувати спеціальні позначення для її основних елементів, опис яких наведено у таблиці 2.1.

Приклад діаграми концептуальної моделі задачі нечіткого управління з використанням позначень з таблиці 2.1 наведено на рисунку 2.4.

Як видно на рисунку 2.4, відповідно до вимог методу область моделі поділена на три частини: вхід блоку управління, вихід блоку управління та обмеження. У вхідній та вихідній частинах наведені назви трьох звичайних вхідних та двох вихідних змінних відповідно. У прямокутниках наведено назви двох вхідних і двох вихідних лінгвістичних змінних та стрілками вказано зв'язок між звичайними та відповідними їм лінгвістичними змінними.

Таблиця 2.1 – Опис компонентів концептуальної моделі задачі нечіткого управління

Графічне позначення	Опис
Назва лінгвістичної змінної	В прямокутнику наводиться назва вхідної чи вихідної лінгвістичної змінної моделі пристрою управління.
	Суцільною стрілкою позначаються зв'язки між звичайними та лінгвістичними змінними. Звичайні вхідні чи вихідні змінні описуються у відповідній частині структури моделі своєю назвою.
	Стрілкою з пунктиром позначається зв'язок між лінгвістичними змінними, що має знайти свою реалізацію у базі нечітких продукцій.
Назва обмеження 1 Перелік змінних обмеження	Прямокутником зі округленими кутами позначаються обмеження задачі нечіткого управління. У назві блоку обмеження вказується його семантичний зміст відповідно до особливостей предметної області, а в нижньому полі наводиться перелік назв змінних, пов'язаних цим обмеженням.

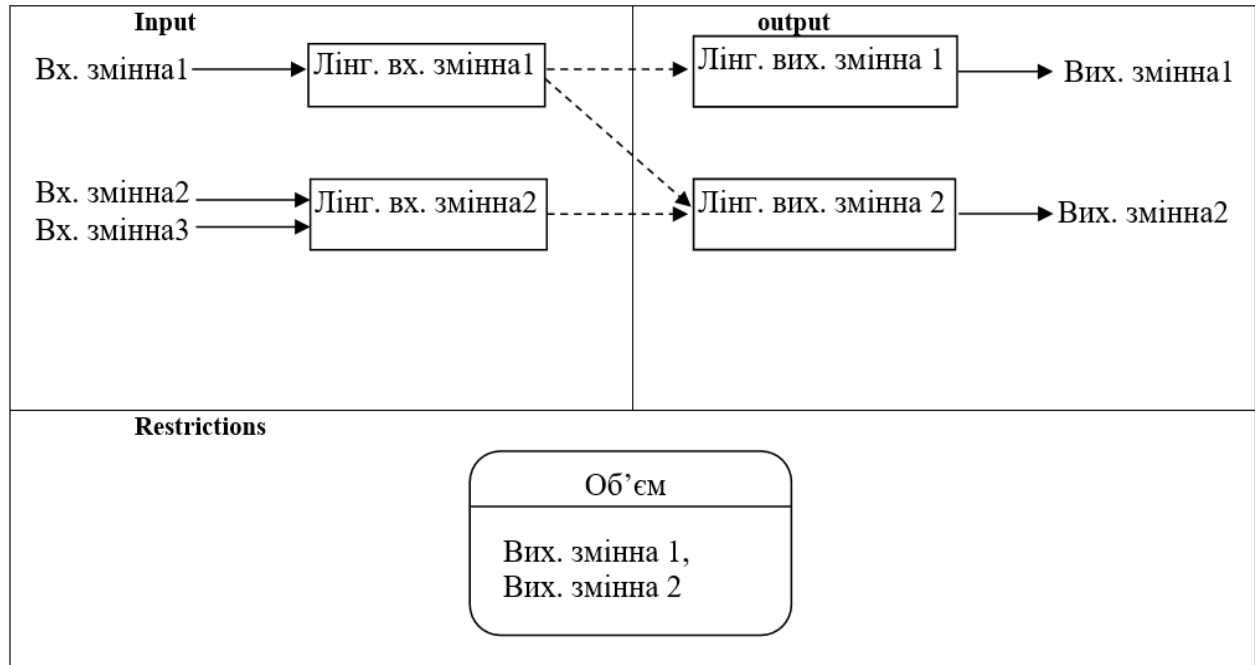


Рисунок 2.4 – Приклад концептуальної моделі задачі нечіткого управління

Пунктирними лініями на рисунку 2.4 зображено узагальнений вплив вхідних лінгвістичних змінних на формування значень вихідних лінгвістичних змінних. У частині діаграми, що відповідає обмеженням задачі, у вигляді прямокутника з округленими кутами наведено обмеження зі вказаною назвою та переліком змінних. В подальшому в рамках даного методу концептуального моделювання для кожної лінгвістичної змінної розробляється детальна модель її структури відповідно до класичного визначення лінгвістичної змінної. Для зручності програмної реалізації управління на основі даної моделі бажано витримувати уніфіковані підходи при формуванні назв звичайних та лінгвістичних змінних.

Детальний опис структури та характеристик кожної лінгвістичної змінної відбувається у її графічній моделі. Загальний вид моделі лінгвістичної змінної відповідно до її класичного визначення, представленого формулою (2.2), наведено на рисунку 2.5.

Назва лінгвістичної змінної	
Тип	Input/ Output
Блок змінних	
Назва звичайної змінної	Множина допустимих значень
Блок термів	
Назва терму	Характеристика функції належності
Опис процедури формування нових термів	
Опис процедури формування функцій належності термів	

Рисунок 2.5 – Узагальнений вид моделі лінгвістичної змінної

Як видно на рисунку 2.5, лінгвістична змінна представляється у вигляді фрейму. В першому полі вказується назва лінгвістичної змінної, а потім позначається, чи є вона вхідною або вихідною змінною. Далі наводяться назви звичайних змінних, яким поставлена у відповідність дана лінгвістична змінна, а також їх області допустимих значень, тим самим визначаючи універсальну множину лінгвістичної змінної. При наведенні множини допустимих значень за необхідності вказуються прийняті одиниці виміру. Наступний блок моделі – множина термів лінгвістичної змінної. Наводяться назви термів та надається характеристика їх функцій належності. За наявності також вказується опис процедури формування нових термів змінної та процедури визначення функцій належності нових термів.

На підставі зв'язків між лінгвістичними змінними формуються правила бази знань нечіткого виводу у вигляді нечітких продукцій, для представлення структури яких запропонована спеціальна діаграма моделі. Модель структури

правил поділяється на дві частини: антецеденти та консеквенти. В кожній з частин наводяться компоненти умов та висновків правил, представлені значеннями лінгвістичних змінних та нечітких логічних операцій над ними. Антецеденти та консеквенти правил поєднуються між собою широкою стрілкою – символом імплікації. В правому верхньому кутку правила наводиться значення його вагового коефіцієнта F . У таблиці 2.2 наведено опис відповідних компонент моделі.

Таблиця 2.2 – Опис компонентів моделі структури правил нечіткого виведення

Графічне позначення	Опис
Назва лінгвістичної змінної <i>Терм</i>	У верхній частині прямокутника наводиться назва вхідної чи вихідної лінгвістичної змінної пристрою керування. У нижній часті – назва терму цієї лінгвістичної змінної як її значення в структурі нечіткого правила жирним шрифтом з курсивом.
	Суцільною стрілкою позначаються зв'язки між значеннями лінгвістичних змінних та логічними операціями, що їх поєднують в антецедентах або консеквентах правил нечітких продукцій.
	Логічні операції між частинами антецедентів або консеквентів позначаються у вигляді кола з наведенням у його центрі символу операції відповідно до прийнятих стандартів математичної логіки.

На рисунку 2.6 наведено приклад моделі структури правил нечіткого виведення у вигляді нечітких продукцій.

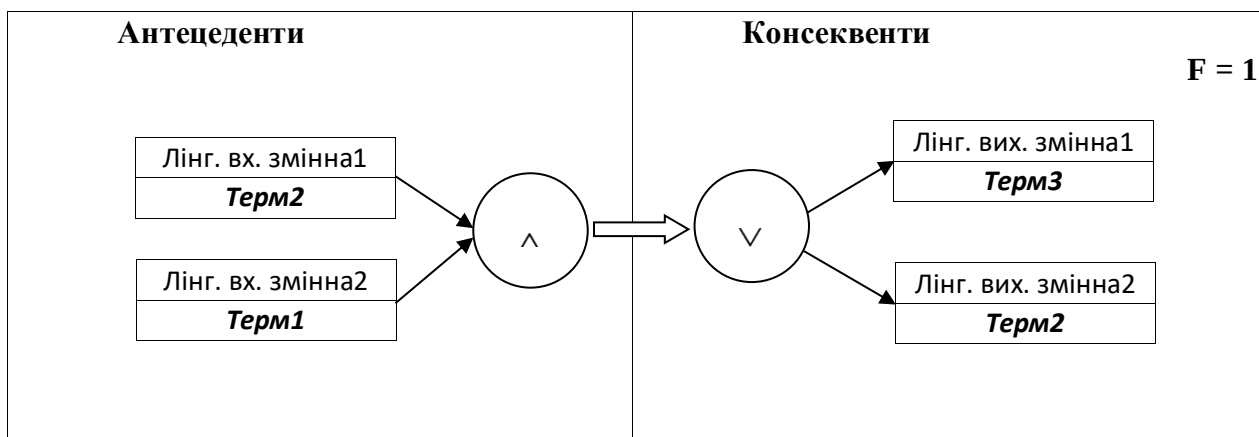


Рисунок 2.6 – Приклад моделі структури нечітких продукцій

Як видно на рисунку 2.6, модель структури правила поділяється на дві частини: антецеденти та консеквенти. В частині антецедентів відповідно до наведених у таблиці 2.2 позначень вказуються у вигляді прямокутників лінгвістичні змінні та їх значення (терми). Антецеденти поєднуються у складні структури за допомогою логічних операцій кон'юнкції та диз'юнкції, які наводяться у вигляді кіл з відповідною позначкою операції. У прикладі використані логічні операції кон'юнкції та диз'юнкції. Логічна структура антецедентів може бути складною, сформованою в результаті кількох логічних операцій з різними рівнями вкладення. Широкою стрілкою позначено закінчення умовної частини правила та перехід до висновку.

Структура висновку правила будується на принципах, аналогічних умовній частині, але у дзеркальному порядку. Спочатку наводиться логічна операція, яка буде виконуватися останньою між частинами консеквента, а далі самі частини. Структура заключної частини правила також може бути складною. Однак у більшості моделей нечіткого виведення з метою спрощення розрахункових процедур робиться припущення, що для поєднання частин антецедентів чи консеквентів використовується лише логічна операція кон'юнкції.

На основі формалізованої моделі нечіткого управління обираються та реалізуються програмно алгоритми нечіткого логічного виведення.

2.2.3. Алгоритм нечіткого логічного виведення

Нечітке логічне виведення (fuzzy logic inference) – це розрахунок з використанням нечітких логічних операцій значень кожної вихідної лінгвістичної змінної у вигляді деякої нечіткої множини на основі поточних значень входів та бази знань у вигляді нечітких продукцій. Теоретична основа нечіткого логічного виведення полягає у використанні композиційного правила Заде. Схематично процес нечіткого логічного виведення показано на рисунку 2.7.

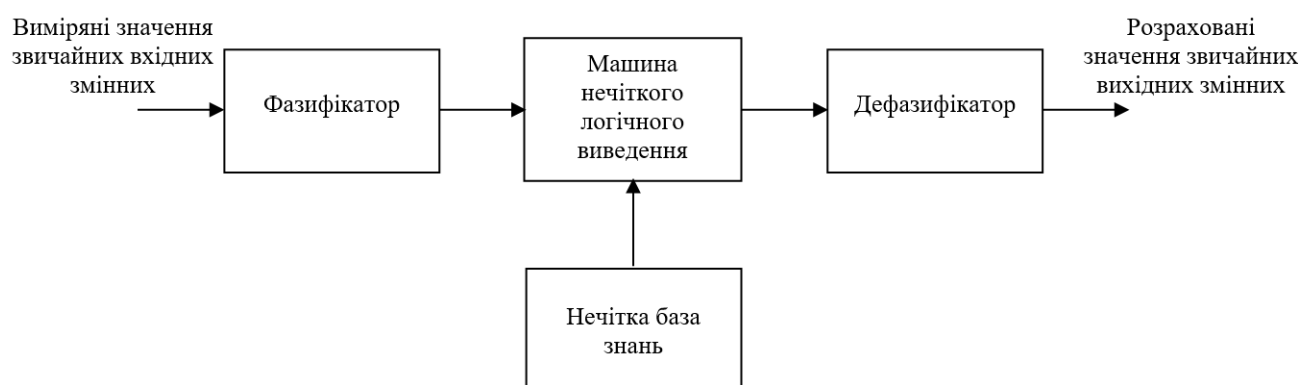


Рисунок 2.7 – Узагальнена схема нечіткого логічного виведення

Як видно на рисунку 2.7, нечітке логічне виведення починається з виконання *фазифікації*, тобто приведення до нечіткості виміряних даних. Під час фазифікації відбувається розрахунок значень функцій належності термів вхідних лінгвістичних змінних шляхом підстановки в якості значень їх аргументів виміряних значень звичайних вхідних змінних [7,10].

Розраховані значення визначають ступень впевненості в тому, що вхідні лінгвістичні змінні при цих даних приймають значення, рівні відповідним термам.

Отримана інформація поступає в машину нечіткого логічного виведення, що являє собою спеціальне програмне забезпечення, яке на основі бази знань у вигляді нечітких продукцій розраховує нечіткий набір значень вихідних лінгвістичних змінних. Цей розрахунок містить наступні після фазифікації етапи нечіткого логічного виведення: агрегування, активізацію та акумуляцію.

Агрегування – це процедура розрахунку ступеня істинності умови A кожної нечіткої продукції з бази знань системи нечіткого висновку. Як правило, кожна з умов нечіткої продукції являє собою поєднання логічними операціями нечіткої кон'юнкції та диз'юнкції підумови. Ступені істинності підумов, що характеризують приймання лінгвістичною змінною значення у вигляді певного терму, розраховані на етапі фазифікації. На етапі агрегування виконуються операції нечіткої кон'юнкції чи диз'юнкції для цих значень. Зазвичай нечітка кон'юнкція реалізується як операція мінімуму з двох значень, а нечітка диз'юнкція – максимуму.

Активізація призначена для розрахунку ступенів істинності висновків B нечітких продукцій. При цьому враховується ваговий коефіцієнт нечіткої продукції F . Ступінь істинності висновку B нечіткої продукції розраховується як алгебраїчний добуток значення ступеня істинності її умови, що розраховане на етапі агрегування, та вагового коефіцієнта F . Якщо висновок нечіткої продукції містить підвисновки, то ступінь істинності кожного підвисновка приймається рівним ступеню істинності всього висновка. Ці значення формують модифікацію функцій належності термів вихідних лінгвістичних змінних, що входять до підвисновків. Модифікація функцій належності термів відбувається за одним з методів активізації: ***min***, ***prod*** чи ***average*** (детальний опис наведений в літературі).

Акумуляція (акумуляування) є процесом формування узагальненої функції належності для кожної вихідної лінгвістичної змінної шляхом об'єднання модифікованих на етапі активізації функцій належності її термів. Об'єднання цих функцій відбувається відповідно до правил операції об'єднання нечітких множин. Таким чином, формується значення вихідної лінгвістичної змінної у вигляді нечіткої множини (точніше, нечіткого числа). За необхідності, ці нечіткі значення можуть бути зведені до чітких процедурою дефазифікації у відповідному модулі.

Дефазифікація є процедурою розрахунку звичайного значення вихідної змінної на основі узагальненого нечіткого числа, отриманого на етапі акумуляції для відповідної вихідної лінгвістичної змінної. Дефазифікацію ще називають приведенням до чіткості. Розрахунки при дефазифікації можуть відбуватися з застосуванням різних підходів, серед яких найбільш часто використовується метод центру ваги. Серед методів дефазифікації також можна зазначити метод центру площі, метод лівого модального значення та метод правого модального значення.

Отримане в результаті дефазифікації значення визначає сигнал управління або рішення для використання в інших системах. Дефазифікація також необхідна для фізичної реалізації управління в технічних системах, бо сучасні виконавчі пристрої та механізми систем управління здатні сприймати команди лише у вигляді кількісних значень.

2.2.4. Методи нечіткого управління та прийняття рішень

На основі процедур нечіткого логічного виведення сформовано методи нечіткого управління та прийняття рішень, серед яких слід визначити методи Мамдані, Цукамото, Ларсена та Сугено [2, 8].

Метод Мамдані містить всі етапи нечіткого логічного виведення та дуже часто використовується при вирішенні задач нечіткого управління.

Метод Цукамото передбачає відмову від етапу акумуляції за рахунок знаходження на етапі активізації звичайних (не нечітких) значень вихідних змінних по кожному підвисновку.

Метод Ларсена відрізняється від методу Мамдані використанням формул prod-активації .

В методі Сугено нечіткі продукції мають структуру, що відрізняються від стандартного нечіткого логічного виведення. В якості висновків в правилах баз знань цього методу виступають різні лінійні функції від звичайних вхідних змінних моделі. Етапи фазицікації та агрегування методу виконуються за стандартними алгоритмами. На етапі активації методу Сугено знаходяться за допомогою min-активації ступені істинності кожного висновку правила та значення його лінійної функції після підстановки значень вхідних змінних. Етап акумуляції в методі відсутній, а на етапі дефазифікації по формулі центру ваги для дискретних множин розраховується значення кожної функції на основі значень ступенів істинності та значень функції по всім висновкам правил, до яких ця функція входить.

Одним з варіантів застосування методу Сугено є його використання для вирішення задачі нечіткої класифікації. В такому випадку в правилах бази знань висновки представляються у вигляді $w=d_i$, де d_i – число, що відповідає i -ому класу (може задаватися довільно). Акумуляція та дефазифікація в алгоритмах нечіткої класифікації не виконуються. Після розрахунку ступенів істинності висновків правил обирається той клас, ступінь належності до якого була максимальною. Якщо правил з максимальним ступенем істинності висновків декілька, то в якості відповіді обирається клас з найбільшою кількістю відповідних йому висновків правил з максимальним ступенем істинності. Також у якості відповіді в задачах нечіткої класифікації може бути набір значень

ступенів істинності належності об'єкта до кожного з класів. Належність об'єкту до кожного класу може бути визначена як максимальне значення істинності відповідних цьому класу висновків правил [5].

Детальніше з особливостями наведених методів нечіткого управління прийняття рішень можна ознайомитися в джерелах, що представлені в списку літератури даного навчального посібника. З метою одержання найбільш адекватних результатів під час вирішення завдань нечіткого управління можна одночасно використовувати кілька методів з зазначених вище.

2.3. Порядок та рекомендації щодо виконання лабораторної роботи № 2

1. Повторити теоретичний матеріал по темі роботи, використовуючи конспект лекцій, рекомендовану літературу та матеріали даного навчального посібника.
2. Визначити номер варіанта та обрати своє індивідуальне завдання.
3. Розробити концептуальну модель предметної області відповідно до варіанту, визначити вхідні та вихідні змінні нечіткої моделі, базу правил нечітких продукцій.
4. Погодити розроблену концептуальну модель з викладачем, що веде лабораторні заняття.
5. Обрати метод нечіткого управління та прийняття рішень та розробити алгоритм вирішення завдання.
6. Розробити програмне забезпечення для розв'язання завдання та провести його тестування. Сформулювати кілька прикладів та

проаналізувати відхилення рішень, що розраховані програмним забезпеченням, від контрольних даних.

7. Оформити звіт з роботи відповідно до наведених нижче вимог.
8. Відповісти на контрольні питання по роботі, наведені в посібнику.

2.4. Вимоги до програмної реалізації завдань лабораторної роботи № 2

Обмежень щодо застосування мов програмування в даній роботі немає. Основною вимогою до вибору мови програмування є можливість реалізації за її допомогою алгоритмів для вирішення завдань. Враховуючи бажану наявність бібліотек для реалізації нечіткого логічного виведення, рекомендується використовувати мови програмування **Python**, **Java** (бібліотека `jFuzzyLogic`) або програмне середовище та інструменти **MATLAB**. Інтерфейс користувача може бути реалізований як в вигляді консолі, так і як графічний інтерфейс чи вебінтерфейс. Однак при будь-якій реалізації інтерфейсу він має бути зручним і містити необхідну інформацію й підказки при введенні даних та при виведенні результатів.

2.5. Вимоги до звіту по лабораторній роботі № 2

Звіт з лабораторної роботи має містити:

- титульний аркуш відповідно до вимог оформлення робіт кафедри;
- розрахунок варіанта роботи та завдання відповідно до варіанту;

- концептуальну модель предметної області задачі нечіткого управління відповідно до наведеної в даному навчальному посібнику методики;
- опис формул та алгоритму методу нечіткого управління та прийняття рішень (у вигляді блок-схем чи діаграм діяльності UML);
- лістинг розробленої програми з коментарями, що містять пояснення щодо виконуваних функцій;
- результати роботи програми для тестових прикладів у вигляді знімків екрану з підписами рисунків відповідно до вимог щодо оформлення робіт кафедри;
- висновки щодо функціональних можливостей розробленого програмного забезпечення та можливість його використання на підставі результатів тестування та аналізу відхилень від контрольних прикладів.

Підготовлений звіт в форматі файлу .doc, .docx або .pdf надсилається на електронну пошту викладача, що веде лабораторні заняття, або надається йому в роздрукованому вигляді.

2.6. Контрольні питання до лабораторної роботи № 2

Підготуйте відповіді на наведені нижче питання щодо матеріалу лабораторної роботи.

1. З яких компонентів складається нечітка модель?
2. В чому переваги побудови нечітких моделей?
3. Що таке лінгвістична змінна? Яка роль її складових?
4. Як визначається нечітка змінна? В чому її відмінність від нечіткої множини?

5. Як можуть бути пов'язані звичайні та лінгвістичні змінні об'єкту моделювання?
6. Які особливості побудови пристроїв нечіткого управління?
7. Яку узагальнену структуру має правило нечіткої продукції? Яким чином утворюється база знань?
8. Навіщо використовується моделювання предметних галузей нечіткого управління?
9. Як можна формально описати задачу нечіткого управління?
10. Які етапи нечіткого логічного виведення ви знаєте? Поясніть кожний з них.
11. В чому полягає суть етапу фазифікації?
12. Яке призначення етапу агрегування?
13. Що таке активація? Які способи активації ви знаєте?
14. В чому полягає суть етапу акумуляції?
15. Яке призначення етапу дефазифікації?
16. Які методи дефазифікації ви знаєте? В чому відмінність між ними?
17. Які методи нечіткого управління та прийняття рішень ви знаєте?
18. В чому полягає відмінність методу Сугено від інших методів?
19. Чим метод Цукамото відрізняється від інших методів?
20. Яка відмінність методу Ларсена від методу Мамдані?
21. Як можна використати метод Сугено для вирішення задачі нечіткої класифікації?

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Shushura O.M. Infological modeling of information systems subject industries in solving of fuzzy control tasks. *Зв'язок*. 2018. № 2. С. 53–56.
2. Желдак, Тимур Анатолійович. Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень :навчальний посібник /Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна, С.А. Ус ; за редакцією С.А. Ус .– Дніпро :НТУ ДП,2020. – 386 с.
3. Золотухіна О.А., Шушура О.М. Функціональне моделювання інформаційної системи управління ресурсами підприємства в умовах невизначеності або недостовірності даних. *Зв'язок*. 2017. № 6. С. 52–57.
4. Івахів, Орест Васильович. Основи побудови систем керування з нечіткою логікою :навчальний посібник /О. Івахів, М. Наконечний. – Львів :Растр-7, 2017. – 129 с.
5. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах. / В. В. Кирик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019. – 224с.
6. Коротка, Лариса Іванівна. Обчислювальний інтелект : теорія нечітких множин :навчальний посібник /Коротка Л.І., Зеленцов Д.Г., Науменко Н.Ю.,Ляшенко О.А., Солодка Н.О.– Дніпро :ДВНЗ УДХТУ,2020. – 161 с.
7. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Нечіткі моделі і методи обчислювального інтелекту" для студентів спеціальності 8.05010102 – Системи штучного інтелекту усіх форм навчання / Уклад.: С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2015. – 50 с.
8. Ротштейн А. П. Проектування нечітких баз знань [Текст] : лабораторний практикум та курсове проектування : [навчальний посібник] / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба. – Вінниця : ВДТУ, 1999. – 65 с.

9. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
10. Технології та системи підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності. Практикум для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальностей 122 Комп'ютерні науки та 126 Інформаційні системи та технології усіх форм навчання [Електронний ресурс] / [упоряд. Єгорова О.В.] ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси: ЧДТУ, 2019 - 90 с.
11. Шушура О.М. Методологічні основи побудови інформаційних технологій для автоматизації управління складними системами на принципах нечіткої логіки : дис. ... доктора технічних наук : 05.13.06 / Шушура Олексій Миколайович. – К., 2018. – 332 с.