

О. В. Золотухін, М. С. Кудрявцева, В. О. Філатов, М. В. Черненко, А. О. Андрусевич
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

РЕЛЯЦІЙНА МОДЕЛЬ ДАНИХ У ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Анотація. Актуальність. Сучасні інтелектуальні технології обчислень переживають свій розквіт. Це пов'язано з потоком нових ідей, що виходять із галузі комп'ютерних наук, яка утворилася на перетині штучного інтелекту та інформаційних технологій. Предметні області, в яких бази даних використовуються як джерело даних, а як метод їх обробки - підхід на основі нечітких систем, становлять інтерес і з практичний, і з наукової точки зору. Тому сьогодні проблема проектування нечіткої моделі бази даних та технологія обробки абстрактної інформації засобами реляційних систем стає дедалі актуальнішою. **Об'єкт дослідження:** нечіткі множини, лінгвістична змінна, функція належності, реляційна модель даних, теорія нормалізації, відношення фазифікації. **Мета статті:** розробка методів зберігання і обробки нечітких даних засобами реляційної моделі, орієнтованої на реалізацію в середовищі сучасних систем управління базами даних. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору схеми реляційної моделі даних для представлення функцій належності лінгвістичних змінних. **Результати дослідження.** У статті на підставі концептуального алгебраїчного підходу до побудови інформаційних систем проведені дослідження, які створюють математичні, технологічні та програмні умови впровадження апарату нечіткої реляційної алгебри і спеціальної структурованої мови для нечітких запитів. Розглянуто питання обробки нечітких даних засобами реляційної моделі, орієнтованої на реалізацію в середовищі сучасних систем управління базами даних. Досліджено особливості функцій належності лінгвістичних змінних. Дано визначення відношенню фазифікації, обґрунтована структура такого відношення, на підставі теоретико-множинного підходу. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору схеми поєднання відношення фазифікації з реляційною базою даних предметної області що досліджується. **Висновки.** Розглянуто представлення функцій належності лінгвістичних змінних засобами реляційних систем. Дано визначення відношенню фазифікації, обґрунтована структура такого відношення, на підставі теоретико-множинного підходу. Розроблено технологію поєднання відношення фазифікації з реляційною базою даних предметної області що досліджується. Сфера використання отриманих результатів: гібридні інформаційно-аналітичні системи підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: нечіткі дані, реляційна модель даних, відношення, теорія нормалізації, відношення фазифікації лінгвістична змінна, нечітка логіка.

Вступ

Постановка проблеми. Комп'ютерні технології за допомогою інтелектуальних обчислень переживають свій розквіт. Це пов'язано з потоком нових ідей, що виходять із галузі комп'ютерних наук, яка утворилася на перетині штучного інтелекту та інформаційних технологій [1].

Предметні області, в яких бази даних використовуються як джерело даних, а як метод їх обробки - підхід на основі нечітких систем, становлять інтерес і з практичний, і з наукової точки зору. Тому сьогодні проблема проектування нечіткої моделі бази даних та технологія обробки абстрактної інформації засобами реляційних систем стає дедалі актуальнішою.

У теперішній час відзначається гібридизація методів інтелектуальної обробки інформації. М'які обчислення об'єднують такі області як нечітка логіка, штучні нейронні мережі, видобуток знань, бази даних, імовірнісні міркування, еволюційні алгоритми тощо. Вони доповнюють один одного і використовуються у різних комбінаціях для створення гібридних інтелектуальних систем [2].

Не залишилися осторонь від цікавого і сучасного напрямку дослідники в області баз даних [3, 4]. Розробляється нечітка реляційна алгебра і спеціальні розширення структурованої мови для нечітких запитів. У цій області інтенсивні дослідження проводять європейські вчені Д. Дюбуа і Г. Праде. Формується перспективний напрям в сучасних системах обробки інформації – нечіткі запити до баз даних (fuzzy queries). У цьому контексті можна розглядати два основних питання, найбільш актуальні в даний час: як

проекувати, де і в яких структурах зберігати нечіткі дані систем такого класу.

Вирішення цих проблем відкриє шляхи інтеграції накопичили колосальні обсяги інформації реляційних баз даних і систем на основі нечіткої логіки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Математична теорія нечітких множин та нечітка логіка продовжують привертати увагу дослідників інтелектуальних, експертних систем, систем підтримки прийняття рішень, тощо. Ці поняття вперше запропоновані американським вченим Лотфі Заде (Lotfi Zadeh). Основною причиною появи нової теорії стала наявність нечітких і наближених міркувань при описі процесів, систем, об'єктів [5, 6]. Нечіткий підхід до моделювання складних систем отримав визнання у всьому світі, минуло не одне десятиліття з моменту зародження теорії нечітких множин. На шляху розвитку нечітких систем виділяють декілька періодів. Перший період характеризується розвитком теоретичного апарату нечітких множин. У другому періоді з'являються перші практичні результати в області нечіткого управління складними технічними системами [7]. Одночасно приділяється увага питанням побудови експертних систем, побудованих на нечіткій логіці, розробці нечітких контролерів. Нечіткі експертні системи для підтримки прийняття рішень знаходять широке застосування у медицині та економіці. У третьому періоді, що триває з кінця 80-х років, з'являються пакети програм для побудови нечітких експертних систем, а області застосування нечіткої логіки помітно розширюються. Вона застосовується в автомобільній, аерокосмічній і транспортній промисловості, у сфері фінансів, аналізу і прийняття управлінських рішень та багатьох інших [8].

Традиційний спосіб представлення елемента множини A полягає в застосуванні характеристичної функції $\mu_A(x)$, що дорівнює 1, якщо цей елемент належить множині A , або дорівнює 0 у протилежному випадку. У нечітких системах елемент може частково належати будь-якій множині. Ступінь належності до множини A , що є узагальненням характеристичної функції, називається функцією належності $\mu_A(x)$, причому $\mu_A(x) \in [0,1]$. Значення функції належності є раціональними числами з інтервалу $[0,1]$, де 0 означає відсутність належності до множини, а 1 - повну належність. Конкретне значення функції належності називається ступенем або коефіцієнтом належності. Цей ступінь може бути визначений явно у вигляді функціональної залежності або дискретно - шляхом завдання кінцевої послідовності значень .

У теорії нечітких множин, крім змінних чисельного типу, існують лінгвістичні змінні з приписуваними їм значеннями [9].

Метою досліджень є розробка методів зберігання і обробки нечітких даних засобами реляційної моделі, орієнтованої на реалізацію в середовищі сучасних систем управління базами даних. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору схеми реляційної моделі даних для представлення функцій належності лінгвістичних змінних.

Основний матеріал

Для вирішення поставленого завдання, а саме обґрунтування та вибору технології обробки нечітких даних розглянемо класичний, концептуальний *алгебраїчний* підхід до побудови інформаційних систем. До теперішнього часу запропоновано кілька формальних методів специфікації програмних систем взагалі, моделей і типів даних зокрема. Найбільшої популярності в якості формальної основи й інструмента специфікації типів даних набув алгебраїчний підхід. Алгебраїчний підхід був реалізований для побудови такої відомої технології як технологія баз даних, показав свою ефективність протягом багатьох років експлуатації побудованих на цій основі систем управління базами даних. Розглянемо особливості такого підходу з розробки на цій основі технології обробки нечітких даних.

У загальному випадку алгебраїчна система може бути подана у вигляді

$$U_a = \langle A, \Omega_f, \Omega_p \rangle, \quad (1)$$

де A – множина основ; $\Omega_f = \{F_1, \dots, F_k\}$ – множина імен операцій, заданих на множині A ; $\Omega_p = \{\pi_1, \dots, \pi_m\}$ – множина предикатів, заданих на множині A .

Система U_a може бути записана у короткому вигляді $U_a = \langle A, \Omega \rangle$, за умови об'єднання множин $\Omega = \Omega_f \cup \Omega_p$.

Множину A називають носієм або основною множиною, операції F_k і предикати π_m на відміну від інших операцій і предикатів називаються основними або головними.

Дослідження в галузі моделей даних інформаційних систем показують, що зараз центральним стало поняття типу даних. Із цим пов'язані як проблематика створення нових мов програмування, так і впровадження сучасних технологій організації даних. Із всього різноманіття підходів до визначення типу даних найбільш конструктивним виглядає такий: тип даних визначає множину значень через множину операцій.

У зв'язку з особливою роллю операцій у визначенні структур даних і функціонуванні систем розглянемо докладніше це поняття. Для формального визначення типу даних запроваджується поняття сигнатури Σ як пари, що складається із множини імен операцій F_k і множини описів операцій Ω_o .

Тоді сигнатуру можна визначити як $\Sigma = \langle F_f, \Omega_o \rangle$. Σ – це пара: специфікація типу даних сигнатури $\Sigma = \langle F_f, \Omega_o \rangle$ і відповідна їй реалізація типу даних.

Такий підхід певною мірою тягне за собою новий погляд на типи даних, згідно з яким множина значень типу характеризується множиною операцій, дозволяє конструювати операції над типами не тільки конструкторам мови, але й програмістам, що створюють свої власні типи. Оскільки тип даних як об'єкт складається із двох основних компонентів: специфікації та реалізації, то й операції над типами мають справу зі складовими цих компонентів. До таких дій можуть належати збільшення чи зменшення кількості операцій, заміна реалізації всіх чи деяких операцій, зміна типу подання і пов'язаних з цим операцій.

Таким чином, у визначенні типу даних віддзеркалюються обидва його аспекти: користувачський (специфікація) і машинний (реалізація). Програміст, складаючи свою програму, бачить тип як певну специфікацію; компілятор, транслуючи цю програму в об'єктний код, має справу із обома аспектами типу даних; процесор, виконуючи об'єктний код, взаємодіє лише із реалізаціями відповідних типів даних.

Для того, щоб створити тип, необхідно побудувати специфікацію і зв'язати з нею відповідну реалізацію. При цьому, природно, необхідно переконатися, що запропонована реалізація задовольняє дану специфікацію. Особливе місце відводиться моделі даних як базовій складовій будь-якої інформаційної системи. Сьогодні модель даних трактується як «сукупність методів і засобів визначення логічної структури бази даних і динамічного стану предметної області у базі даних».

К. Дейт виділяє у моделі даних три найсуттєвіших компонента:

- сукупність засобів визначення допустимих структур даних;
- множина операцій, які можна застосувати до допустимого стану бази даних для пошуку чи модифікації даних;
- множина обмежень цілісності, які явно чи неявно визначають множину допустимих станів бази даних [10].

Завдяки сполученню названих властивостей, модель даних надає користувачам засоби опису даних,

маніпулювання й контролю цілісності, виражені в одній чи кількох мовах роботи із базами даних. Завдання вироблення функціонально повного набору операцій над типами вимагає ретельних досліджень і не може бути визнане таким, що на сьогодні вже вирішене.

Розглянемо класичний підхід до побудови реляційного відношення, запропонований Е. Коддом, і виділимо основні властивості відношення при розширенні множини доменів [11].

Нехай R – кінцева підмножина імен відношень база даних; $D = (D_1, \dots, D_i)$ – множина доменів, де всякий домен D_i є іменованою множиною атомарних значень елементів даних; A – кінцева множина імен атрибутів відношення; dom – відображення з A в D , яке визначає з якого домену обрані значення атрибутів.

Пару $\langle A_i, domA_i \rangle$, де $A_i \in A$, називають атрибутом. Структурну схему S_i відношення R_i ($R_i \in R$) можна подати у вигляді $R_i(A_1, \dots, A_n)$, у якому всі A_i різні. Відношення r_i можна визначити як розширення схеми $S_i: r_i \subseteq domA_1 \times \dots \times domA_n$. Перестановка атрибутів у схемі не породжує нового розширення та множина $\{A_1, \dots, A_n\}$ атрибутів відношення R_i задає тип відношення. Задля специфікації складу носія використовується вираз $R_i = A_1 \dots A_n$. Структурна схема U реляційної бази даних – це специфікація (R_1, \dots, R_p) , де $R_i \in R$ і всі R_i різні.

Концептуально реляційна база є інформаційно-логічною моделлю певної предметної області, такою, що кожне розширення відповідає деякому стану даної області у певний момент дискретно поточного часу. Кожен стан моделюється впорядкованою сукупністю значень елементів даних, відповідних значенням властивостей об'єктів предметної області. Зауважимо, що реляційна модель даних передбачає сильну типізацію об'єктів, використання цілком певних категорій, таких як тип об'єкта, атрибут (властивість) об'єкта, домен. Об'єкти мають набір властивостей, що задаються в реляційній моделі схемою відношення [12].

Для вирішення завдань зберігання та обробки нечітких даних визначимо спеціальний тип відношень – *відношення фазифікації*. Схема таких відношень повинна відповідати двом умовам: відповідати класичним вимогам реляційної моделі даних і раціонально зберігати і представляти модель лінгвістичної змінної.

Будем розуміти під нечіткий змінний набір (N, X, Y) , де N – це назва лінгвістичної змінної, X – область міркувань, Y – нечітка множина на X . Використовуючи таке визначення, сформуємо три домени, які відповідають обраному набору змінних.

Нехай $N = \{n_1, \dots, n_m\}$, $Y = \{0, 0.1, \dots, 1\}$, $X = \{x_0, \dots, x_k\}$. Значення X і Y відповідають обраній шкалі дискретизації і представляють область приналежності до параметра N . Для розглянутого випадку визначимо відповідні домени з метою представлення значень нечіткої змінної: $D_1 = \{n_1, n_2, \dots, n_m\}$, $D_2 = \{x_0, \dots, x_m\}$; $D_3 = \{0, 0.1, \dots, 1\}$. Визначимо множину

імен доменів і сформуємо відображення для множини імен $A = \{A_1, A_2, A_3\}$.

Відображення $\rho: (A_1 \rightarrow D_1; A_2 \rightarrow D_2; A_3 \rightarrow D_3)$ визначає множину атрибутів $A = \{A_1, A_2, A_3\}$, що відповідає схемі відношення $S(A_1, A_2, A_3)$. Приклад такого відношення фазифікації наведено на рис. 1.

A_1	A_2	A_3
n_2	x_{14}	0
n_3	x_{14}	1
n_2	x_i	0.9
n_3	x_i	0.9
n_2	x_{20}	1
n_3	x_{20}	0
...

Рис. 1. Відношення фазифікації: завдання параметрів лінгвістичної змінної у табличному вигляді

Таким чином, у загальному випадку можна говорити про існування універсального відношення, що складається з кортежів декартового добутку доменів $D_1 \times D_2 \times D_3$. Ключем такого відношення буде множина усіх атрибутів $K = (A_1, A_2, A_3)$. Відношення фазифікації в подальшому будемо визначати як $R^f(A_1, A_2, A_3)$.

Перше завдання дослідження, сформульована у цій статті вирішено, проведено обґрунтування основної структурної одиниці в інформаційній технології зберігання нечітких даних та цією структурою є відношення фазифікації.

Залишається відповісти на питання, а як пов'язувати, об'єднувати дані, представлені нечітким відношенням фазифікації з даними реляційної моделі прикладної інформаційної системи. Розглянемо підхід поєднання таких даних на загальнотеоретичному рівні [13].

Нехай $U(R_1, \dots, R_n)$ – база даних, в якій зберігаються основні дані про досліджувану предметну область, $R^f(A_1, A_2, A_3)$ – відношення фазифікації. Завдання матиме сенс, якщо базі даних U існує атрибут, щодо якого виконана фазифікація. Щоб організувати спільну роботу з двох баз даних U і R^f , формалізуємо процедуру інтеграції, ґрунтуючись на технологію поетапної нормалізації.

Структура відношення U отримана на підставі функціональних залежностей $F = \{M_i \rightarrow N_i\}$ де $M_i, N_i \in U$.

Виділимо одну із залежностей, яка включає атрибут з параметрами фазифікації, і позначимо її як $W \rightarrow V$, причому W і V у загальному випадку можуть бути множинами. Відношення R^f містить одну залежність виду

$$F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1, A_2, A_3\}.$$

Спираючись на аксіоми виведення отримаємо еквівалентну множину

$$F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_2; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_3\}.$$

Нехай параметр фазифікації відповідає атрибуту A_2 , тоді для визначення типу зв'язку необхідно отримати множину $F = F \cup F'$ та розглянути два випадки, що впливають на правила нормалізації:

- $A_2 \in W$ – пошук неповних залежностей: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \zeta$ і $\omega \rightarrow \zeta$, причому $\omega \subseteq \xi$, тоді залежність $\omega \rightarrow \zeta$ є неповною;

- $A_2 \in V$ – пошук транзитивно-залежних атрибутів: якщо виконуються функціональні залежності $\xi \rightarrow \omega$ і $\omega \rightarrow \zeta$, тоді елемент ζ є транзитивно-залежним [14].

Наявність таких залежностей дозволяє виконати коректну декомпозицію та встановити зв'язок між базою даних U і R^f .

Враховуючи той факт, що структура бази даних не повинна змінюватись, необхідно зв'язати відношення фазифікації $R^f R^f$ і U без реструктуризації схеми даних. Уявимо R^f і U у вигляді головних сутностей.

Для усунення зв'язку "N:M" введемо додаткову сутність, яка вирішить проблему підтримки цілісності даних за рахунок визначення нових типів зв'язків. Сутність зв'язок міститиме один атрибут – сполучний для R^f і U , причому з об'єктивних причин він буде ключовим. З опису концептуальної схеми слід, що за для коректного з'єднання R^f і U необхідно

побудувати проміжне відношення. Такий підхід гарантує узгодженість даних будь-яких типів параметрів фазифікації.

Покажемо, що для завдання цілком коректні результати при виконанні з'єднання відносин з асоціацією типу «N:M». Можливі значення атрибуту $A_1 \in U$ можуть повторюватися стільки разів, скільки це значення перетинає межі діаграми фазифікації по осі ординат.

Тобто кожному значенню атрибуту A_1 відповідає рядок унікальних даних.

Якщо A_1 не є ключем, і значення повторюються, то, за визначенням множини, у рядку має бути хоча б одне відмінне значення. У термінах розв'язуваної задачі необхідно аналізувати такі рядки. Значення атрибуту A_1 відношення R^f також можуть повторюватися, причому у різних комбінаціях.

Таким чином, у загальному вигляді для аналізу даних, що накопичуються в реляційних базах даних, достатньо побудувати фазифіковане відношення та встановити зв'язок з атрибутом (атрибутами), за значеннями якого необхідно провести відповідний аналіз.

На рис.2. представлена схема концептуальна схема об'єднання даних двох таблиць, відносини фазифікації, в якому у вигляді даних реалізовано відображення лінгвістичної змінної «ВІК», та відношення предметної області, де є атрибут «ВІК» пов'язаний у вигляді кортежів з іншими атрибутами. Таке об'єднання дозволяє отримати нові якісні дані, нові знання про властивості предметної області представлені зовсім в іншій проекції з урахуванням нечітких оцінок.

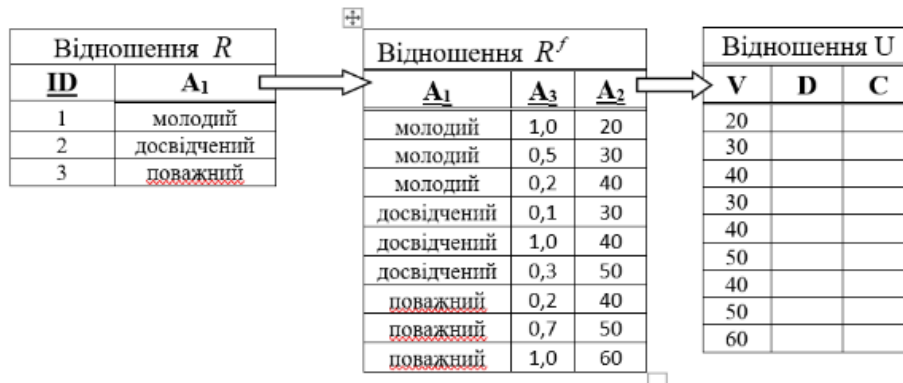


Рис. 2. Фрагмент схеми з'єднання відношення фазифікації R^f та баз даних U

Наведемо приклад реалізації такої технології на основі проведених із статті досліджень. Візьмемо за основу лінгвістичну змінну «ВІК» та сформуємо відношення фазифікації R^f аналогічне, як представлено на рис.2. Як аналізоване відношення будемо використовувати дані про захист дисертаційних робіт рівня доктор філософії здобувачами U .

У такій базі даних, у такому відношенні представлені ряд атрибутів, у тому числі «ВІК ПОШУКАЧА» та область досліджень, серед них такі як «Технічні», «Юридичні», «Економічні» тощо. Розроблена технологія дозволить відповісти на запитання: які напрями досліджень обирають, наприклад, «МОЛОДІ» здобувачі? На рис.3. представлений графік на основі нечіткого запиту.

Висновок: молоді науковці, здобувачі наукових ступенів у молодому віці обирають напрями досліджень «Культурологія», «Юриспруденція», тощо, при цьому «Технічні науки» не популярні.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія зберігання, обробки нечітких даних дозволяє успішно вирішувати великий клас прикладних завдань, поєднуючи нечіткі дані з даними предметних областей.

Висновки

У статті розглянуто та досліджено два основних питання, найбільш актуальні в даний час: як проектувати, де і в яких структурах зберігати нечіткі дані гібридних систем.

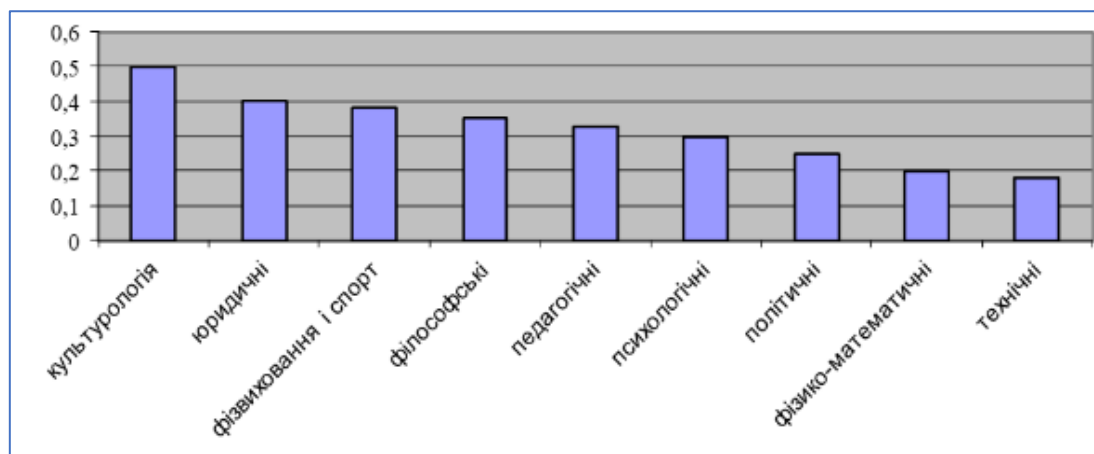


Рис. 3. Результат виконання нечіткого запиту

Проведені дослідження на підставі концептуального алгебраїчного підходу до побудови інформаційних систем, які створюють математичні, технологічні та програмні умови впровадження апарату нечіткої реляційної алгебри і спеціальної структурованої мови для нечітких запитів.

Розглянуто питання обробки нечітких даних засобами реляційної моделі, орієнтованої на реалізацію в середовищі сучасних систем управління базами даних. Досліджено особливості функцій належності лінгвістичних змінних. Дано визначення відношенню фазифікації, обґрунтована структура такого відношення, на підставі теоретико-множинного підходу. Особливу увагу приділено обґрунтуванню вибору схеми поєднання відношення фазифікації з реляційною базою даних предметної області що досліджується.

Наведено приклади, що підтверджують ефективність розглянутого у статті підходу до технології зберігання і обробки нечітких даних засобами реляційної моделі.

Конфлікт інтересів

Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів стосовно даного дослідження, в тому числі фінансового, особистісного характеру, авторства чи іншого характеру, що міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в даній статті.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bodyanskiy, Y., Zaychenko, Y., Kuzmenko, O., Zaichenko, H. (2026). Hybrid System of Computational Intelligence Based on Fuzzy Bagging and Group Method of Data Handling. In: Zgurovsky, M., Pankratova, N. (eds) System Analysis and Data Mining. Studies in Systems, Decision and Control, vol 609. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-97529-5_14
2. Фалько, М., & Шафроненко, А. (2024). Нечіткий метод кластеризації даних з використанням еволюційної процедури. Матеріали конференції МЦНД, (25.10.2024; Умань, Україна), 424–426. <https://doi.org/10.62731/mcnd-25.10.2024.004>
3. Avrunin, O., Vlasov, O., & Filatov, V. (2020). Model of semantic integration of information systems properties in relay database reengineering problems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, (4 (14)), 5–12. <https://doi.org/10.30837/itssi.2020.14.005>
4. Filatov, V., Semenets, V., & Zolotukhin, O. (2020). Data mining in relational systems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, (3 (13)), 65–76. <https://doi.org/10.30837/itssi.2020.13.065>
5. Zadeh, L. A. (1974). The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Learning Systems and Intelligent Robots, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2106-4_1
6. Fuzzy Set Theory and Rough Set Theory. (2006). In Fuzzy Modeling and Fuzzy Control, Birkhäuser Boston. 1–32. https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4539-7_1
7. Mamdani, E. H. (1977). Applications of fuzzy set theory to control systems: a survey. Fuzzy automata and decision processes, 10, 247–259. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(77\)90077-2](https://doi.org/10.1016/0005-1098(77)90077-2)
8. Raju, K. V. S. V. N., & Majumdar, A. K. (1988). Fuzzy functional dependencies and lossless join decomposition of fuzzy relational database systems. ACM Transactions on Database Systems, 13(2), 129–166. <https://doi.org/10.1145/42338.42344>
9. Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-15, 116–132. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313399>
10. Date, C. J. (2003). Introduction to database systems. Pearson Education, Limited, 1024 p. <https://www.amazon.com/Introduction-Database-Systems-8th/dp/0321197844>
11. Codd, E. F. (1983). A relational model of data for large shared data banks. Communications of the ACM, 26(1), 64–69. <https://doi.org/10.1145/357980.358007>
12. Filatov, V., & Semenets, V. (2018). Methods for Synthesis of Relational Data Model in Information Systems Reengineering Problems. 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 247–251. <https://doi.org/10.1109/infocommst.2018.8632144>
13. Filatov, V., & Doskalenko, S. (2018). On the Approach to Searching for Functional Dependences of Data in Relational Systems. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, (1 (3)), 54–58. <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.3.054>

14. Rodriguez-Jimenez, J. M., Rodriguez-Lorenzo, E., Cordero, P., Enciso, M., & Mora, A. (2015). A Normal Form for Fuzzy Functional Dependencies. 2015 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, 984–989. <https://doi.org/10.1109/ssci.2015.143>

Received (Надійшла) 02.02.2026

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.04.2026

Publication date (Дата публікації) 22.05.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Золотухін Олег Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету Комп'ютерних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Oleh Zolotukhin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of Computer Science Faculty, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: oleg.zolotukhin@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-0152-7600>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=57207774022>.

Кудрявцева Марина Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри штучного інтелекту, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Maryna Kudryavtseva – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Artificial Intelligence Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: maryna.kudryavtseva@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-0524-5528>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=57207765829>.

Філатов Валентин Олександрович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри штучного інтелекту, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Valentin Filatov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Artificial Intelligence Department, Kharkiv, Ukraine;

email: valentin.filatov@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-3718-2077>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56911938100>.

Черненко Микола Володимирович – кандидат технічних наук, асистент кафедри штучного інтелекту, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;

Mykola Chernenko – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Artificial Intelligence Department, Kharkiv, Ukraine;

email: mykola.chernenko@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0009-0006-0623-5056>;

Андрусевич Анатолій Олександрович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії, Харків, Україна;

Anatoly Andrusevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radioelectronics, Professor at the Department of Computer-Integrated Technologies, Automation, Robotics and Safety Engineering, Kharkiv, Ukraine;

email: anatoli.andrusevych@nure.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0002-3142-635X>;

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57220195350>.

Relational data model in solving fuzzy logic tasks

Oleh Zolotukhin, Maryna Kudryavtseva, Valentin Filatov, Mykola Chernenko, Anatoly Andrusevich

Abstract. Relevance. Modern intelligent computing technologies are experiencing their heyday. This is due to the flow of new ideas coming from the field of computer science, which was formed at the intersection of artificial intelligence and information technology. Subject areas in which databases are used as a source of data, and as method of their processing – an approach based on fuzzy systems are of interest both from a practical and scientific point of view. Therefore, today the task of designing a fuzzy database model and the technology of processing abstract information using relational systems is becoming increasingly relevant. **Research object:** fuzzy sets, linguistic variable, membership function, relational data model, normalization theory, fuzzification relation. **Purpose of the article:** development of methods for storing and processing fuzzy data using a relational model, focused on implementation in the environment of modern database management systems. Special attention is paid to the justification of the choice of a relational data model scheme for representing membership functions of linguistic variables. **Research results.** In the article based on the conceptual algebraic approach for building information systems, research has been conducted, that creates mathematical, technological and program conditions for implementing the apparatus of fuzzy relational algebra and a special structured language for fuzzy queries. The issue of processing fuzzy data by means of relational model oriented to implementation in the environment of modern database management systems has been considered. The features of membership functions of linguistic variables have been investigated. The definition of the fuzzification relation has been given, the structure of such relation has been substantiated based on the set-theoretic approach. Special attention has been paid to the justification of the choice of the scheme for combining the fuzzification relation with the relational database of the research subject area. **Conclusions.** Representation of membership functions of linguistic variables by means of relational systems is considered. The definition of the fuzzification relation is given, the structure of such relation is substantiated based on the set-theoretic approach. The technology of combining the fuzzification relation with the relational database of the research subject area is developed. The scope of use of the obtained results: hybrid information and analytical decision support systems.

Keywords: fuzzification relation linguistic variable, fuzzy data, fuzzy logic, normalization theory, relation, relational data model.