

УДК 004.89

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ БАЗ НЕЧІТКИХ ЗНАНЬ

О. Ю. Сєдушев
Аспірант*

E-mail: oleksandr.siedushev@gmail.com

Є. В. Буров

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: eugeneburrov01@gmail.com

*Кафедра інформаційних систем та мереж

Національний університет

“Львівська політехніка”

вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

Дана стаття розглядає задачу інтерпретації результатів, отриманих завдяки аналізу баз нечітких знань. Запропоновано перелік обмежень, які можна накладати на нечіткі множини, функції належності, лінгвістичні змінні, нечіткі продукційні правила. Розроблені обмеження слід використовувати при проектуванні та реалізації нечітких методів інтелектуального аналізу для покращення сприйняття, читабельності і розуміння вихідних результатів

Ключові слова: база нечітких знань, інтелектуальний аналіз даних, інтерпретація результатів аналізу

Данная статья рассматривает задачу интерпретации результатов, полученных благодаря анализу баз нечетких знаний. Предложен перечень ограничений, которые можно накладывать на нечеткие множества, функции принадлежности, лингвистические переменные, нечеткие продукционные правила. Разработанные ограничения следует использовать при проектировании и реализации нечетких методов интеллектуального анализа для улучшения восприятия, удобочитаемости и понимания выходных результатов

Ключевые слова: база нечетких знаний, интеллектуальный анализ данных, интерпретация результатов анализа

1. Вступ

Видобування даних (інтелектуальний аналіз даних) широко використовується у багатьох прикладних сферах людської діяльності, включаючи маркетинг, бізнес, медицину, економіку, фінанси та різноманітні наукові напрямки.

Однак певна кількість факторів, що перешкоджають повсюдному прийняттю та використанню даної технології, існує до сих пір. В основному це пов'язано з тією причиною, що результати багатьох методів інтелектуального аналізу часто є складними та такими, що важко піддаються розумінню, особливо людям, які не є професійними аналітиками.

Для прикладу, отримання 100 сторінок продукційних правил у якості результатів проведеного аналізу значно не покращає ситуацію для бізнес-аналітика чи особи, що приймає стратегічні рішення, оскільки для їхнього перегляду та зрозуміння знадобиться дуже багато часу.

Усе це стосується не тільки традиційного видобування даних, об'єктом маніпулювання якого є класичні бази даних та знань (тобто такі бази, що не містять різного роду нечіткостей), а й інтелектуального аналізу баз нечітких знань. Чи не найважливішим фактором при розгляді та аналізі результатів видобування даних з таких баз є їхня легка та проста для розуміння інтерпретація.

2. Постановка задачі

Інтерпретація є фундаментальною вимогою для нечітких моделей та нечіткого видобування даних. Будь-які результати, отримані завдяки інтелектуальному аналізу баз нечітких знань, повинні бути зрозумілі користувачу, тобто користувач повинен усвідомлювати значення таких результатів безпосередньо або опосередковано через вбудовані засоби візуалізації, але без залучення додаткового допоміжного спеціалізованого програмного забезпечення. Нехтування даної вимоги нівелює усі можливості математичного та технологічного апаратів інтелектуального аналізу та нечіткої логіки.

Інтерпретація результатів інтелектуального аналізу, в основному та в незалежності від контексту, необхідна для:

- 1) швидкого та надійного підтвердження ймовірності істинності видобутих знань у тій чи іншій формі;
- 2) покращення моделі (методу) аналізу, її поведінки та відповідних навчальних алгоритмів;
- 3) валідації повносправності системи бази знань та її еволюції у відповідності до змін навколишнього середовища.

Існує багато аспектів, від яких залежить якісна інтерпретація результатів нечіткого інтелектуального аналізу баз нечітких знань, серед яких:

- кількість вихідних нечітких правил;

- кількість antecedentів у кожному нечіткому правилі;
- кількість термів лінгвістичної змінної;
- розрізненість нечіткого розбиття та відповідно асоційована нечітка множина значень для кожної вхідної змінної.

На сьогоднішній день неочевидно, які аспекти чи обмеження слід розглядати, підбирати, закладати при проектуванні та реалізації методів інтелектуального аналізу баз нечітких знань для хорошої інтерпретації отриманих результатів [1], а тому дослідження та розвиток даних питань є актуальним завданням.

3. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Питання складності інтерпретації результатів нечіткого інтелектуального аналізу, різновидів моделей баз нечітких знань обговорюється у багатьох наукових джерелах та статтях. Велика частина публікацій присвячена, власне, терміну інтерпретації та класу проблем, з ним пов'язаних.

У [2] автори наводять своє формальне бачення даного терміну, описують фундаментальні питання, пов'язані з нечіткими моделями та системами нечітких баз знань, зазначають що піддається інтерпретації, коли та чому вона потрібна, як може бути досягнута при правильному попередньому проектуванні системи та відповідно оцінена при експлуатації системи. Частина їхнього дослідження ґрунтується на [3], де пропонується розрізнити 2 класи архітектур нечітких систем:

- архітектуру одиничного подання знань;
- архітектуру множинного подання знань.

Архітектура одиничного подання використовується як для визначення, так і для пояснення поведінки нечіткої системи бази знань. Проте баланс між інтерпретацією та точністю у таких системах грає не на користь останньої характеристики.

Другий підхід дозволяє використання одного подання знань для побудови математично точної поведінки нечіткої системи, а другого подання – для пояснення поведінки системи та результатів виведення у формі, що сприяє адекватній інтерпретації користувачем. Така роздільність більш схожа на механізм роботи людського мозку, у якому задіяні обидві півкулі для різного роду операцій.

У [4] поняття інтерпретації розглядається у контексті проблеми існування надлишкових нечітких правил у базі знань. Логічним є те, що користувачам баз нечітких знань, що містять будь-які надлишки, проблематично використовувати та модифікувати у своїх цілях вміст таких баз. Тому автори наголошують на потребі розробки добре обґрунтованого та ефективного алгоритму для виявлення та усунення надлишкових нечітких правил, а також наводять опис власноруч розробленого алгоритму та необхідної теоретичної бази для його розуміння.

Натомість у [5] об'єктами для розгляду є не тільки надлишкові правила, а ще й подібні нечіткі множини, тому що останні спричиняють непотрібну структурну складність та знижують прозорість результатів інтелектуального аналізу. Запропоновано спеціальний

спрощуваний метод для отримання результатів, зручних для інтерпретації. В основі даного методу лежать нечітка кластеризація та наближені міри подібності. Як наслідок, надлишкові правила видаляються, а подібні нечіткі множини зливаються в одну загальну.

Щодо практичних застосувань, то автори [6] описали як можна покращити інтерпретацію нечітких моделей та результатів нечіткого аналізу, використовуючи багаточільові нейро-еволюційні алгоритми (NSGA-II, MONEA та ENORA-II). Дані алгоритми намагаються водночас знайти велику кількість домінуючих (Парето-оптимальних) систем нечітких баз знань з оглядом на два конфліктуючі критерії: точність та складність інтерпретації. Відповідно отримані системи нечітких баз знань допомагають зрозуміти постійно існуючий компроміс між точністю та інтерпретацією у таких системах. Особа, що приймає рішення, має змогу вибрати найбільш придатне вирішення з множини наявних завдяки хорошій інтерпретації кінцевих результатів.

4. Мета статті

Поняття, особливості, критерії та аспекти простої і якісної інтерпретації у контексті розгляду результатів інтелектуального аналізу баз нечітких знань недостатньо розкриті у сучасній науковій літературі. Тому дана стаття має на меті їхнє дослідження та пропонує список обмежень, який можна використовувати на практиці. Це дозволить суттєво покращити інтерпретацію, а також підтримувати контент (вміст) і обсяг бази нечітких знань на належному рівні якості при проведенні інтелектуального аналізу.

5. Дослідження та введення обмежень щодо покращення інтерпретації результатів аналізу баз нечітких знань

Будемо вважати, що інтерпретацію результатів інтелектуального аналізу слід розцінювати перш за все як можливість чи здатність зрозуміти/“прочитати” вивід (вихід) методу, системи. Оскільки у роботі розглядається інтелектуальний аналіз баз нечітких знань, то спрямуємо увагу на вміст бази нечітких знань (у тому чи іншому вигляді/форматі) або його окремо узятую частину після застосування методів аналізу.

Як правило, якісний стан контенту бази нечітких знань наприкінці аналізу можна показати графічно, враховуючи постійно існуючу залежність між похибкою результатів з однієї сторони, та складністю інтерпретації результатів і обсягом вмісту бази нечітких знань з іншої (рис. 1).

Потрібно усвідомлювати, що складність опису результатів аналізу, а разом з тим і складність їхнього розуміння певною особою, зростає прямо пропорційно із обсягом вмісту бази нечітких знань і закладеною точністю результатів, та спадає обернено пропорційно зростанню прозорості спроектованого під конкретне завдання методу аналізу.

Відтак, інтерпретацію не можна розглядати як ізолювану властивість, розмежовуючи її від конкретного

контексту, параметрів, досліджуваної проблеми, середовища, типу бази знань. Дана стаття бере за основу бази нечітких знань типу Мамдані [7], оскільки вони за замовчуванням володіють кращими інтерпретованими характеристиками.



Рис. 1. Залежність якісних характеристик станів контенту бази нечітких знань

У даній роботі пропонуються обмеження, які можна використовувати для покращення читабельності та розуміння результатів інтелектуального аналізу баз нечітких знань, не порушуючи при цьому значним чином їхню точність. В загальному, їх можна накладати на:

1) лінгвістичні змінні і нечіткі множини, нечіткі правила та їхні складові (тобто на базу нечітких знань як таку);

2) методи аналізу або нечітку систему у цілому.

Дані дві групи є протилежними сторонами одного й того ж наміру, які мають призвести до однакового остаточного результату. Відрізняється лише кут погляду на проблему та фон деталізації, у який додається обмеження.

Якщо накласти обмеження на першу групу, то методи аналізу зобов'язані відображати це у результатах, а нечітка система підтримувати. Якщо ж накласти обмеження на другу групу, то елементи першої групи повинні формуватися/генеруватися/підтримуватися у відповідності. Дана праця буде розглядати обмеження лише у контексті першої групи. У [8] можна ознайомитися із спробою визначення дуже загальної та поверхневої таксономії обмежень, що торкаються питання інтерпретації результатів аналізу нечітких баз даних та, скоріше неявно і частково, нечітких баз знань. Подібна мета стоїть і у [9], але ухил робиться лише в сторону інтерпретації систем з базами нечітких знань. Автори пропонують на розгляд концептуальний фреймворк факторів інтерпретації.

Отже, прозорості вихідних результатів аналізу баз нечітких знань можна досягти накладенням численних можливих обмежень. Нижче наводиться деталізований перелік запропонованих категорій обмежень, що стосуються саме того випадку, коли аналізуються бази нечітких знань. Варто зауважити, що перші 2 категорії мають спільні точки перетину у тих чи інших обмеженнях.

Категорія 1. Обмеження, що стосуються нечітких множин та відповідних функцій приналежності.

1.1. Нормальність нечіткої множини.

Вимагається, щоб нечітка множина містила хоча б один елемент із функцією приналежності $\mu_F = 1$. Оскільки кожна функція приналежності представляє кожен лінгвістичний терм із заданою чіткою семантичною інтерпретацією, то хоча б один елемент повинен цьому повністю відповідати.

1.2. Форма функції належності, за допомогою якої моделюється нечітка множина.

Рекомендується використовувати трикутні, гаусівські (нормальні) або трапецієвидні форми функцій належності.

1.3. Взаємодоповнюваність функцій приналежності.

Значення функцій приналежності будь-якого вибіркового елемента у сумі мають давати одиницю, не зважаючи на кількість нечітких множин, у які він частково чи повністю входить.

Це гарантуватиме рівномірний розподіл значущості елементів.

1.4. Об'єднання подібних нечітких множин.

Об'єднувати подібні нечіткі множини можна з використанням міри подібності. Однією з таких мір є індекс Жакарра, який і визначає подібність між нечіткими множинами A та B (за умови неперервності їх елементів) наступним чином:

$$S(A,B) = \frac{\int (\mu_A \cap \mu_B)(x) dx}{\int (\mu_A \cup \mu_B)(x) dx}, \tag{1}$$

де операція перетину в чисельнику знаходить мінімум з двох функцій належності, а операція об'єднання в знаменнику – максимум з двох функцій належності. Інтегрування на практиці забезпечує чисельну апроксимацію.

Для визначення подібності між дискретними нечіткими множинами A та B можна скористатися наступною формулою:

$$S(A,B) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Min}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i))}{\sum_{i=1}^n \text{Max}(\mu_A(x_i), \mu_B(x_i))}. \tag{2}$$

Як правило, міра подібності $S(A, B) = 0$ свідчить про те, що множини зовсім не подібні. Чим ближче значення міри наближається до одиниці, тим подібнішими є нечіткі множини.

У результаті, дві найбільш подібні між собою множини зливаються в одну. А даний процес порівняння повторюється доти, доки не буде множин, міра подібності яких є меншою за задане порогове значення подібності.

Графічно об'єднання подібних нечітких множин, змодельованих через асоційовані трапецієвидні функції належності MF, можна показати наступним чином (рис. 2, а та рис. 2, б).

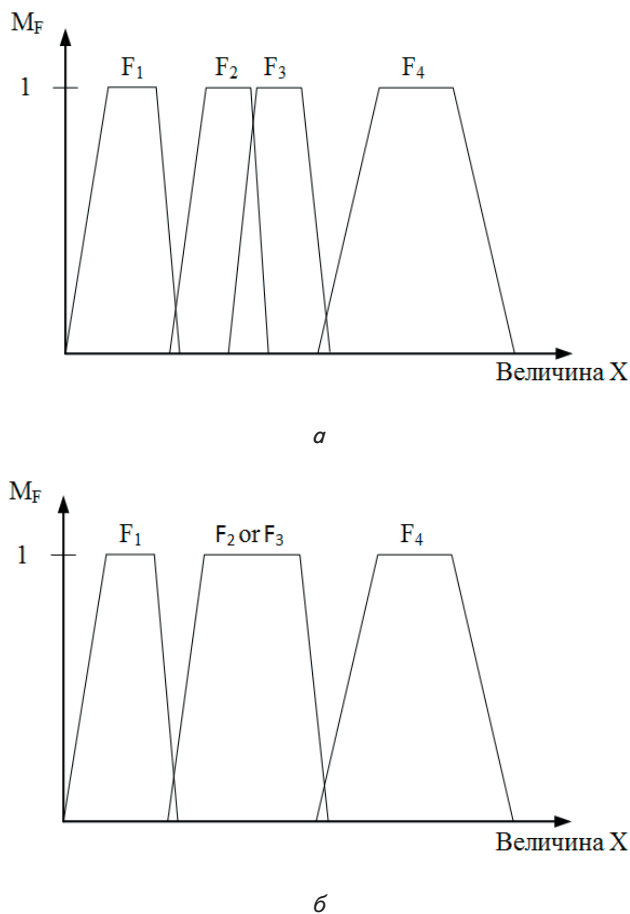


Рис. 2. Приклад об'єднання подібних нечітких множин F_2 та F_3 : *a* – перед об'єднанням; *б* – після об'єднання

Іншим підходом є відображення двох нечітких та схожих між собою множин у площину новоствореної нечіткої множини та використання зовсім інших лінгвістичних термів і форм функцій належності.

Об'єднання подібних нечітких множин дозволяє позбутися непотрібної та шкідливої надлишковості.

Категорія 2. Обмеження, що накладаються на лінгвістичні змінні.

2. 1. Кількість елементів терм-множини лінгвістичної змінної.

Пропонується використовувати 7 ± 2 термів [10]. Саме така кількість згідно наукових досліджень сприяє кращому семантичному розумінню лінгвістичної змінної людиною.

Крім того, бажано отримувати терм-множини із непарною кількістю термів, що дозволить мати "центральний" терм, від якого легше відштовхуватися при інтерпретації.

2. 2. Кореляція елементів терм-множини лінгвістичної змінної.

Терми, що входять до терм-множини, мають корелювати між собою. Тобто зміна деякого вибіркового терму чи області його значень має в ідеалі призводити до певних змін в, як мінімум, одному сусідньому термі.

2. 3. Розбиття, розподіл або розрізненість лінгвістичних термів.

Розбиття лінгвістичних термів є одним з найважливіших аспектів інтерпретації. Для нечітких правил, що легкі для сприйняття, нечітке розбиття термів

лінгвістичних змінних має бути повним та розрізним, тому функції належності термів і відповідно асоційовані нечіткі множини значень не повинні сильно перетинатися.

У більшості випадків, розрізнення лінгвістичних термів та нечітких множин – це вагомий крок у сторону покращення прозорості результатів інтелектуального аналізу баз нечітких знань чи нечіткої системи.

Приклади розрізненого та нерозрізненого нечіткого розбиття показані нижче (рис. 3, *a*, *б*).

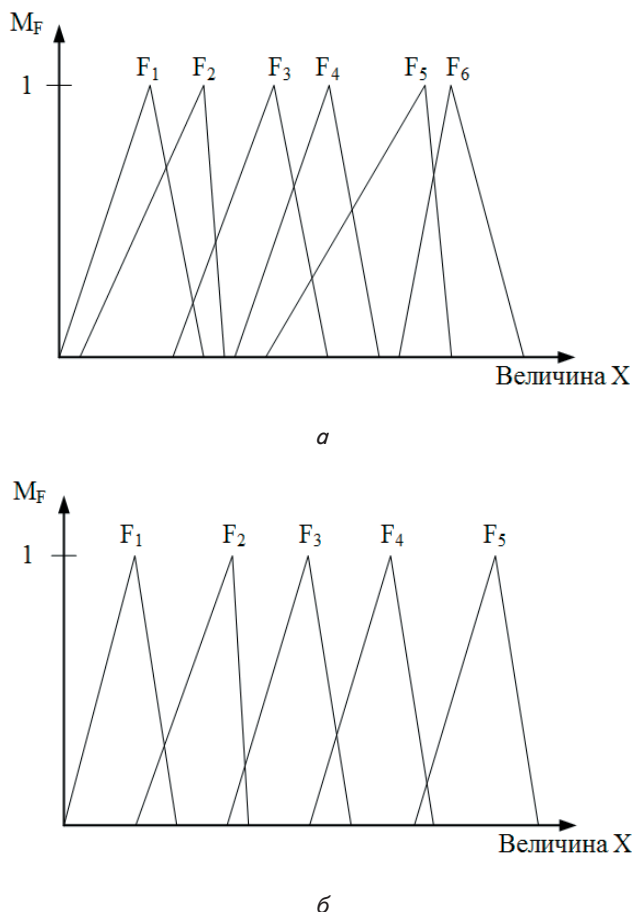


Рис. 3. Нечітке розбиття лінгвістичних термів на прикладі трикутних функцій належності M_F : *a* – нерозрізнене; *б* – розрізнене

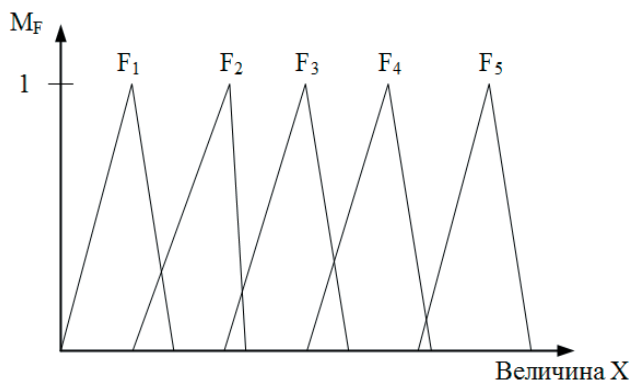
Якихось критеріїв, що визначають розрізненість нечіткого розбиття у тій чи іншій мірі, немає. У загальному це залежить від подібності термів (нечітких множин) та їхньої кількості у розбитті. Розподіл, що можна розрізнити, не може мати дуже багато подібних нечітких множин, а їхня кількість не повинна перевищувати задане число.

Якщо нечіткі множини подібні між собою, то варто їх об'єднувати в одну.

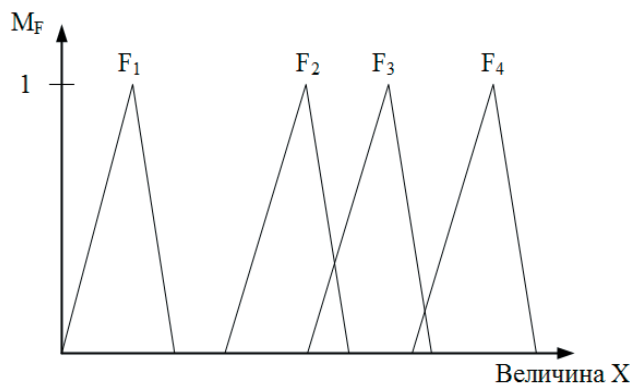
2. 4. Неперервність множини лінгвістичних термів.

Кожна множина лінгвістичних термів лінгвістичної змінної повинна бути неперервною, тобто суміжні нечіткі терми повинні мати спільний перетин. Відсутність спільного перетину свідчить про можливі помилки при інжинірингу чи виведенні знань.

Приклади неперервних та перервних функцій належності показані нижче (рис. 4, *a* та рис. 4, *б*).



а



б

Рис. 4. Приклади множини лінгвістичних термів на прикладі трикутних функцій належності M_F : а – неперервної; б – перервної

Категорія 3. Обмеження, що стосуються нечітких правил.

3. 1. Кількість нечітких правил у базі нечітких знань.

Кількість нечітких правил у базі нечітких знань повинна бути як можна меншою, але разом з тим такою, що не погіршує точність.

Для цього використовують багато прийомів, серед яких [7]:

- злиття (редукція) або усунення надлишкових нечітких правил, тобто таких правил, що не містять релевантної інформації і зміст яких покривається іншими нечіткими правилами;
- виправлення або усунення помилкових та конфліктних нечітких правил; під конфліктними нечіткими правилами маються на увазі правила, які не можуть існувати разом, оскільки вони при цьому погіршують ті чи інші властивості результатів, конфліктуючи між собою;
- злиття подібних між собою нечітких правил на основі однакових антецедентів чи консеквентів (як правило однаковими виступають консеквенти, а антецеденти нечітких правил можуть бути при цьому об'єднані у одному нечіткому результуючому правилі).

3. 2. Зв'язування антецедентів та консеквентів у нечіткому правилі.

Агрегація антецедентів та консеквентів має відбуватися диз'юнктивно, або кон'юнктивно, або ж диз'юнктивно-кон'юнктивно.

3. 3. Вага (ваговий коефіцієнт, сила) нечітких правил.

Слід уникати специфікації ваги нечітких правил, оскільки це суттєво зменшує їхню інтерпретацію у сукупному контексті.

3. 4. Довжина (розмір) нечіткого правила.

Нечітке правило повинно містити як можна менше антецедентів та консеквентів (але варто пам'ятати про точність правила; коротше правило може втратити частину своєї унікальності). База нечітких знань, що містить ~50 нечітких правил, кожне з яких має 6–10 антецедентів в умовній частині, є навряд чи зрозуміла для людини. Але спрощення правил та кількості антецедентів у їхніх умовних частинах призводить до втрати точності. Тому завжди має бути компроміс між точністю та зрозумілістю. Загалом, менша довжина нечіткого правила гарантує кращу інтерпретацію.

Для скорочення довжини нечіткого правила можна застосувати процедуру стиснення правила. Дана процедура нівелює менш релевантні антецеденти у кожному окремому правилі, в результаті чого правила стають коротшими за розміром, більш зрозумілими та містять тільки значущі антецеденти, але при цьому є також і більш загальними. Крім того, існує вірогідність того, що стиснуте нечітке правило буде хибно спрацьовувати при деяких значеннях вхідних змінних, що призведе до неправильних результатів та плутанини.

Тому необхідно враховувати усі нюанси перед застосуванням подібної процедури.

3. 5. Використання нечіткими правилами спільних нечітких множин та лінгвістичних змінних.

Нечіткі правила повинні користуватися, якщо можливо, спільними нечіткими множинами та лінгвістичними змінними. Це зменшує кількість можливих унікальних нечітких множин та лінгвістичних змінних.

3. 6. Цілісність нечітких правил.

Кожна множина правил є цілісною, якщо у ній не існує правил з однаковими антецедентами та різними консеквентами. Зворотна річ призводить до порушення розбірливості та якості бази нечітких знань. Якщо існують правила, що сильно суперечать одне одному, то відповідно важко зрозуміти причину їхнього включення, а також семантику таких правил. Щоправда, вищезазначене стосується лише найбільш тривіальних випадків забезпечення цілісності.

Про більш детальне пояснення нецілісності та її різновиди можна дізнатися у [11].

3. 7. Повнота нечітких правил.

Кожне правило чи множина правил є повною, якщо будь-яка комбінація вхідних значень у результаті формує належну одно- чи багатоеlementну множину вихідних значень, або ж співставляє усі легальні комбінації вхідних змінних з вихідними. Іншими словами, нечіткі правила повинні покривати увесь діапазон можливих вхідних значень та реагувати відповідним чином.

Графічно приклад неповноти множини нечітких правил зображений нижче (рис. 5), де заштрихована область вказує на пропущену (нерозглянуту) частину вхідного простору, що свідчить про неповноту.

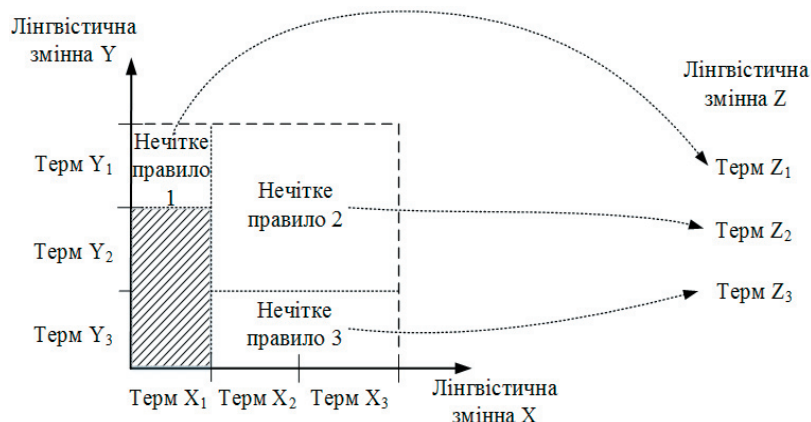


Рис. 5. Приклад неповноти множини нечітких правил

Вищенаведені обмеження визначають характеристики результатів аналізу, але доцільність врахування/включення тих чи інших обмежень визначається специфікою відповідної конкретної задачі. Крім того, запропонований перелік обмежень не є вичерпним. Існують й інші обмеження, які з тих чи інших причин до роботи не увійшли.

Наприклад, виключно дослівне текстове представлення нечітких правил (простими реченнями, словосполученнями, тощо) надає додаткової семантичної інформації завдяки властивостям природної мови та здатності людини її розуміти, і є більш читабельним ніж формальне нечітке правило. Але з іншої сторони це вимагало б зовсім іншого механізму синтаксичного аналізу такого подання нечітких правил, виокремлення значущих частин зі шматка тексту, маніпулювання цим текстом якимось чином. Усе

це потребує додаткових досліджень, узгоджень та є витратною для науковця справою. Але з іншої сторони це відкриває нові можливості, над розвитком та дослідженнями яких можна працювати у майбутньому.

6. Висновки

Добре розуміння та інтерпретація вихідних результатів є комплексною та фундаментальною вимогою як для традиційного інтелектуального аналізу, так і для аналізу баз нечітких знань. Попри це, інтерпретація як поняття, а також прикладні аспекти та критерії якісної інтерпретації результатів аналізу баз нечітких знань, є до сих пір проблемними та недостатньо дослідженими ділянками відповідної області знань.

У даній статті запропоновано набір обмежень, який дозволяє покращити інтерпретацію результатів, отриманих завдяки інтелектуальному аналізу баз нечітких знань. Перелік містить обмеження щодо формату представлення, характеристик та властивостей нечітких множин, функцій приналежності, лінгвістичних змінних, нечітких правил, які у сукупності є контентом бази нечітких знань. Безперечно, до запропонованого набору можна додавати додаткові обмеження для задоволення відповідних прикладних потреб. На практиці рекомендується застосовувати та підтримувати як можна більше сумісних обмежень, що дозволить спростити процес інтерпретації.

Література

1. Ishibuchi, H. Pattern classification with linguistic rules [Text] / H. Ishibuchi, Y. Nojima // *Fuzzy Sets and Their Extensions: Representation, Aggregation and Models*. – 2010. – Vol. 220. – P. 377–395.
2. Mencar, C. Some fundamental interpretability issues in fuzzy modeling [Text] : In proc. of the Joint 4th conf. / C. Mencar, G. Castellano, A. Fanelli // *The European Society for Fuzzy Logic and Technology*. – Barcelona, Spain, 2005. – P. 100–105.
3. Van de Merckt, T. Multiple knowledge representations in concept learning [Text] / T. Van de Merckt, C. Decaestecker // *Lecture Notes in Computer Science*. – 1995. – Vol. 912. – P. 200–217.
4. Stepnickova, L. New results on redundancies of fuzzy/linguistic if-then rules [Text] : In proc. of the Joint 8th conf. / L. Stepnickova, M. Stepnicka, A. Dvorak // *The European Society for Fuzzy Logic and Technology*. – Milan, Italy, 2013. – P. 400–407.
5. Chen, M. Rule-base self-generation and simplification for data-driven fuzzy models [Text] / M. Chen, D. Linkens // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2004. – Vol. 142. – P. 243–265.
6. Carpena, G. Improving interpretability of fuzzy models using multi-objective neuro-evolutionary algorithms [Text] / G. Carpena, J. Ruiz, J. Munoz, F. Jimenez // *Advances in Evolutionary Algorithms*. – 2008. – P. 279–296.
7. Casillas, J. Interpretability improvements to find the balance interpretability–accuracy in fuzzy modeling: An overview [Text] / J. Casillas, O. Cordon, F. Herrera, L. Magdalena // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. – 2003. – Vol. 128. – P. 3–22.
8. Mencar, C. On the role of interpretability in fuzzy data mining [Text] / C. Mencar, G. Castellano, A. Fanelli // *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. – 2007. – Vol. 15. – P. 521–537.
9. Alonso, J. A Conceptual framework for understanding a fuzzy system [Text] : In proc. of the Joint 6th conf. / J. Alonso, L. Magdalena // *The European Society for Fuzzy Logic and Technology*. – Lisbon, Portugal, 2009. – P. 119–124.
10. Zhou, S. M. Low-level interpretability and high-level interpretability: A unified view of data-driven interpretable fuzzy system modelling [Text] / S. M. Zhou, J. Gan // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2008. – Vol. 159. – P. 3091–3131.
11. Mencar, C. Interpretability constraints for fuzzy information granulation [Text] / C. Mencar, A. Fanelli // *Information Sciences*. – 2008. – Vol. 178. – P. 4585–4618.