ВІДГУК

офіційного опонента Яковлева Сергія Всеволодовича
на дисертаційну роботу Єгошкіна Данила Ігоровича
«Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та дослідження структури нечіткої бази знань»,
що подана на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Дисертаційна робота Єгошкіна Данила Ігоровича **«Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та дослідження структури нечіткої бази знань»** присвячена розробці методів та алгоритмів автоматичної генерації бази знань системи логічного виведення, методів налаштування параметрів моделі представлення знань, вдосконаленню методів логічного виведення, методів доведення коректності бази знань та дослідженню якості побудованої системи логічного виведення.

1. Актуальність обраної теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами

В сучасному інформаційному світі експертні системи займають провідне місце серед програмних засобів, які здатні пропонувати рішення та надавати поради на рівні експертів в певних галузях знань. Ключовими елементами будь-яких систем логічного виведення є бази знань, що складаються із набору правил, за якими здійснюється логічне виведення. Ці набори правил часто мають досить складну нелінійну структуру, в якій враховуються взаємозв'язки між значною кількістю параметрів. Тому процес побудови систем логічного виведення та налаштування відповідної моделі потребує значних інтелектуальних зусиль та витрат часу як з боку фахових експертів, так і з боку розробників. Крім того, створені бази знань потребують постійного оновлення та вдосконалення завдяки безперервному оновленню самих знань. Тому пошук методів автоматичної генерації бази правил, налаштування параметрів моделі на основі експериментальних даних, а також розроблення механізму

додавання нових знань до існуючих баз, удосконалення їх структури є **актуальною науковою задачею**, що розв'язувалась в даній роботі.

Тематика роботі повністю відповідає науковому напрямку кафедри комп'ютерних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара і знаходиться в рамках наукових тем «Дослідження математичних моделей фізичних процесів методами ідентифікації та рекурентного аналізу із застосуванням інформаційних технологій» (№ держреєстрації 0119U101053, 2019-2021 рр.), «Детерміновані та стохастичні алгоритми комп'ютерного моделювання об'єктів та процесів різної природи» (№ держреєстрації 0122U001467, 2022-2024 рр.) цієї кафедри.

2. Особистий внесок здобувача в отримані наукових результатів, наданих у дисертаційній роботі

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково проблеми і обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації, формуванні мети і завдань дослідження; теоретичному обґрунтуванні і розробленні моделі представлення знань, методів і алгоритмів автоматичного формування бази правил та редукції цієї бази, доведення коректності побудованої бази правил. Результати теоретичних та розрахункових досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації отримані та розроблені автором базуються на сучасних методах математичного та комп'ютерного моделювання та дискретної математики, зокрема, теорії нечітких множин та нечіткої логіки, логіки Хоара та методу резолюцій, методів кореляційного аналізу.

4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку теоретичні та практичні застосування методів автоматичної генерації бази правил,

налаштування параметрів моделі, розроблення механізму додавання нових знань до існуючих баз та удосконалення їх структури.

Вперше:

– для перевірки коректності автоматично побудованої бази правил за критеріями повноти, мінімальності, зв'язності і несуперечності застосовано логіку Хоара, метод резолюцій та програмне забезпечення Simplify;

– запропоновано адаптивний алгоритм редукції бази правил із використанням методу дихотомії з динамічним кроком та інтегральної метрики, що враховує кількість активацій певного правила та ступінь належності об'єктів навчальної вибірки правилу. Множина правил поділяється на підмножину правил, що виконуються, та підмножину правил, що є надмірними для досягнення критерію якості.

Дістали подальшого розвитку:

– метод побудови нечіткої продукційної моделі для представлення знань про об'єкти предметної області на основі навчальної вибірки за допомогою розроблених алгоритмів навчання;

– метод логічного виведення з використанням бази знань нечіткої продукційної моделі для розв'язання задачі класифікації в умовах нечіткості та неповноти інформації про об'єкти предметної області; за наявності конфлікту при прийнятті рішення, що полягає у неспроможності системи однозначно визначити належність об'єкта певному класу, запропоновано процедуру порівняння відстані між об'єктами та класами;

– метод ідентифікації та налаштування значень параметрів нечіткої продукційної моделі, зокрема автоматизовано визначення лінгвістичних змінних, терм-множин, границь термів, параметрів функцій належності, вагових коефіцієнтів правил, кількості правил;

– методика побудови сукупності правил бази знань та алгоритм їх автоматичного формування за допомогою попереднього аналізу ознак навчальної вибірки, матричного представлення антецедентів та векторного представлення консеквентів правил.

Запропоновано:

– вид нечіткого продукційного правила, що поєднує моделі Мамдані та Такагі-Сугено-Канг та містить у консеквенті правила в якості вагового коефіцієнту функцію, що визначає ступінь належності вихідної змінної до результуючої терм-множини.

Досліджено:

– якість побудованої нечіткої продукційної моделі з використанням матриці невідповідностей та метрик, що визначають частину правильних відповідей моделі (accuracy), точність (precision), повноту (recall), f-міру (f1-score).

5. Практичне значення отриманих результатів

В ході проведеного дослідження були розроблені нові ефективні алгоритми для розв'язання перелічених вище задач та створено програмний продукт на об'єктно-орієнтованих мовах програмування C++, JavaScript та Python, що реалізує розроблені алгоритми. Розроблені методи та алгоритми були застосовані для розв'язання модельних задач класифікації.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес та використовуються при виконанні курсових та дипломних робіт студентами кафедри комп'ютерних технологій факультету прикладної математики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

6. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації

Матеріали дисертації висвітлені в 4 наукових статтях, серед яких одна стаття опублікована у провідному міжнародному журналі, що входить до наукометричної бази Scopus, 3 статті опубліковані в наукових фахових виданнях категорії Б. Зазначені публікації з достатньою повнотою розкривають основний зміст дисертаційної роботи.

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на 9 міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях.

7. Аналіз основного змісту роботи

У вступі висвітлено актуальність роботи, мету та задачі дослідження, об'єкт та предмет дослідження, методи та підходи, що використовувались під час дослідження, а також його результати.

У *першому розділі* проведений аналіз сучасних методів отримання знань та створення архітектури компонентів нечіткого логічного виведення. Розглянуті можливі підходи до розв'язання задач редукції бази правил в системах логічного виведення.

У *другому розділі* сформульована задача класифікації, описані модель представлення знань та логічного виведення. Розроблено алгоритм автоматичного формування бази правил на основі навчальної вибірки з метою розв'язання задачі класифікації. Вдосконалено метод логічного виведення в частині вирішення конфліктів при прийнятті рішень. Розроблено адаптивний алгоритм редукції бази правил із використанням методу дихотомії з динамічним кроком та запропонованої метрики.

У *третьому розділі* запропоновані методи налаштування параметрів нечіткої продукційної моделі. Проведений аналіз коректності бази правил враховуючи її повноту, несуперечливість, зв'язаність та мінімальність. Запропоновано та доведено можливість проведення автоматичної перевірки повноти бази правил з використанням логіки Хоара. Запропоновано здійснювати оцінку роботи експертної системи з використанням не тільки стандартних метрик, а і матриці невідповідностей.

У *четвертому розділі* розв'язані модельні задачі класифікації за допомогою запропонованої нечіткої моделі представлення знань. Проведено порівняння результатів, отриманих на основі розробленої моделі, із результатами класифікації на основі класичного алгоритму. Виконано чисельний аналіз впливу параметрів моделі та розмірів вибірки на якість класифікації.

Робота завершується висновками, які випливають зі змісту роботи, є логічними та віддзеркалюють її основні результати.

8. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Робота має традиційну структури і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел (137 джерел) та додатків.

Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним і відповідає вимогам до наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень.

9. Зауваження щодо змісту дисертації

1. У дослідженні використовуються лише трикутні та трапецієвидні функцій належності та не використовувалися інші види. Бажано було б дослідити, як впливає використання S-образних, Z-образних та П-образних функції належності на покращення результатів класифікації. Доцільно було б надати відомості, яких змін набудуть запропоновані підходи до налаштування значень параметрів нечіткої продукційної моделі, зокрема автоматизованого визначення лінгвістичних змінних, терм-множин, границь термів, параметрів функцій належності, при виборі функцій належності іншого виду.

2. В методі розв'язування конфліктів при прийнятті рішень для організації процедури порівняння відстані між об'єктами використовується Евклідова метрика. Однак, чи не звужує це клас задач, що досліджується? Бажано було б дослідити, як використання різних метрик впливає на якість побудованої нечіткої продукційної моделі.

3. У запропонованому у роботі адаптивному алгоритмі редукції бази правил використовується метрика, що враховує кількість активацій певного правила та ступінь належності об'єктів навчальної вибірки правилу. Доцільно було б навести відомості як відбувається адаптація процедури підрахунку кількості активованих правил в разі, коли у процесі функціонування системи до множини правил додаються нові правила.

4. Було б доцільно проаналізувати результати застосування розроблених методів не тільки для розв'язування модельних задач, а також для розв'язання прикладних задач.

Зазначу, що зроблені зауваження не носять принципового характеру, не зменшують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи і не можуть істотно вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації.

10. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона подається до захисту

Дисертаційна робота Єгошкіна Д.І. на тему «Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та дослідження структури нечіткої бази знань» повністю відповідає спеціальності 113 Прикладна математика.

11. Загальні висновки

В цілому, дисертаційна робота Єгошкіна Данила Ігоровича є завершеним науковим дослідженням на актуальну тему. Отримані науково обґрунтовані теоретичні та числові результати утворюють нову ланку досліджень в галузі розробці та удосконалення

- методів та алгоритмів автоматичної генерації бази знань систем логічного виведення для задач класифікації на основі експериментальних даних;
- методів налаштування параметрів моделі представлення знань;
- методів доведення коректності бази знань та дослідження якості побудованої системи логічного виведення.

Враховуючи актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, дисертаційна робота Єгошкіна Данила Ігоровича «Розробка методів і алгоритмів автоматичної генерації та дослідження структури нечіткої бази знань», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика задовольняє встановленим вимогам відповідно до наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти,

наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами), а її автор - Єгошкін Данила Ігорович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри математичного моделювання та штучного інтелекту Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

18.01.2024 С.В. Яковлев

Підпис Сергія Яковлева засвідчую

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М. Є. ЖУКОВСЬКОГО "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ" №02066769

учений секретар університету Антонина Бондарева

18.01.2024