

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 58.082.110
Західноукраїнського національного
університету
доктору технічних наук, професору
Пасічнику Роману Мирославовичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора, професора кафедри
комп'ютерних наук Західноукраїнського національного університету

Мельника Андрія Миколайовича

на дисертаційну роботу Кіндзерського Олександра Віталійовича
на тему «Ідентифікація інтервальних моделей систем програмними
агентами бджолиної колонії у середовищі NVIDIA CUDA»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

1. Актуальність теми дисертації.

Сучасні інформаційні технології та системи підтримки прийняття рішень, які ґрунтуються на них, відзначаються широким використанням математичних моделей, реалізованих за допомогою програмних засобів. Універсальність розроблювальних технологій дає можливість їх застосування для широкого кола різнорідних задач прийняття рішень. Для прикладних задач прийняття рішень більш придатним є індуктивний підхід. Програмна реалізація методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей, що ґрунтуються на аналізі інтервальних даних, є ускладненою через необхідність множинних розв'язків інтервальних систем нелінійних алгебраїчних рівнянь. Разом з тим програмна реалізація цих методів є ускладненою через необхідність множинних розв'язків інтервальних систем нелінійних алгебраїчних рівняння. Задачі структурної та параметричної ідентифікації на основі інтервальних даних відзначаються NP-обчислювальною складністю.

Таким чином актуальним є науково-технічне завдання розроблення методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем програмними агентами метаевристичного алгоритму бджолиної колонії у середовищі NVIDIA CUDA.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням і містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, наведено відомості про апробацію і публікації за темою роботи з чітким зазначенням особистого внеску автора.

У першому розділі – “Аналіз методів ідентифікації інтервальних моделей систем” – проведено детальний огляд проблематики ідентифікацією інтервальних моделей систем. В першому підрозділі розглянуто особливості побудови інтервальних моделей систем. Досліджено, що інтервальні моделі систем забезпечують явне й математично коректне представлення невизначеності параметрів і входних впливів, надають можливість оцінювати стійкість і працездатність системи щодо збурень і похибок. Обґрунтовано доцільність застосування метаевристичних методів колективного інтелекту як інструменту глобальної оптимізації для ідентифікації інтервальних моделей систем.

У другому розділі – “Метод мультиагентної ідентифікації інтервальних моделей на основі абк з використанням NVIDIA CUDA” – описано формальну постановку задач параметричної і структурної ідентифікації інтервальних моделей систем. Обґрунтовано вибір технології NVIDIA CUDA для організації мультиагентної системи ідентифікації за рахунок масово паралельних обчислень на графічних процесорах. Описано метод паралельних обчислень ідентифікації з застосуванням алгоритму бджолоїної колонії і сформовано гібридну схему CPU–GPU обчислень, де усі керувально-логічні фази АБК виконуються на CPU, а GPU відповідає за масово-паралельне обчислення функції мети для наборів кандидатів. Представлено універсальний шаблон ядра оцінки функції мети з динамічною спеціалізацією та компіляцією під конкретну прикладну модель.

У третьому розділі – “Агентно орієнтована архітектура програмної системи для ідентифікації інтервальних моделей” – обґрунтовано архітектурні рішення програмної системи ідентифікації інтервальних моделей на основі алгоритму бджолоїної колонії. Описано трирівневу організацію програмної системи – інтерфейс користувача, алгоритмічна бібліотека та обчислювальний CUDA бекенд. Комп’ютерне середовище реалізоване з графічним інтерфейсом, що підтримує керування проєктами, імпорт/експорт CSV/JSON, валідацію параметрів, візуалізацію перебігу пошуку та результатів у реальному часі, профілювання. Відокремлення графічного інтерфейсу від обчислювальної бібліотеки спростило супровід і забезпечило можливість подальшого переходу до кросплатформних інтерфейсів без змін алгоритмічної частини.

У четвертому розділі – “Прикладні аспекти програмної системи” – наведено результати апробації розробленої компютерного середовища ідентифікації інтервальних моделей систем для прикладних задач екологічного моніторингу, оцінювання достовірності контенту та реабілітації пацієнтів з порушенням рухливості верхніх кінцівок. На прикладах побудови інтервальних моделей для екологічного моніторингу встановлено закономірність, що для моделей малої розмірності (2-3 коефіцієнти) застосування запропонованої технології та обчислювальних методів є нераціональним. При зростанні розмірності інтервальної моделі до 10 коефіцієнтів та при виборі оптимального

параметра чисельності бджолиної колонії – 4096 – спостерігається зменшення часової складності застосування запропонованої технології та обчислювальних методів в понад 45 разів. Встановлено, що чим вища розмірність задачі, тим вища ефективність застосування запропонованої технології та обчислювальних методів.

Висновки дисертації повністю відображають отримані результати та відповідають вимогам до підсумкових положень наукової роботи.

Структура роботи цілком відповідає логіці та послідовності розв'язання поставлених наукових завдань.

Достовірність і валідність отриманих результатів та запропонованих рішень, висновків і рекомендацій забезпечено: коректним застосуванням аналітичних і чисельних методів дослідження; відповідністю теоретичних розрахунків результатам їх верифікації; узгодженістю висновків із фізичною природою досліджуваних явищ; порівнянням запропонованих рішень із відомими у науковій літературі; співставленням отриманих результатів із даними інших авторів і з цілями дослідження.

Результати проілюстровано таблицями, графіками та рисунками. Прийняті в роботі рішення демонструють наукову новизну, є обґрунтованими та ефективно розв'язують поставлені науково-прикладні завдання, включно з програмною реалізацією.

3. Наукова новизна отриманих результатів.

Основні наукові положення, результати та висновки дисертаційної роботи отримані автором самостійно, є оригінальними, достатньо обґрунтованими та підтвердженими результатами комп'ютерних експериментів, а також апробацією основних положень на національних та міжнародних наукових конференціях.

Достовірність наукових положень, висновків і результатів, отриманих автором, забезпечується коректним і адекватним застосуванням математичного апарату, сучасних методологій проектування інформаційних систем та успішною програмною реалізацією запропонованих рішень. Наукову новизну мають такі результати, отримані в дисертаційній роботі:

1. Вперше розроблено обчислювальні методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем, які на відміну від існуючих ґрунтуються на застосуванні програмних агентів, що виконують функції поведінкової моделі бджолиної колонії паралельно, що забезпечило зниження часової складності ідентифікації інтервальних моделей систем.

2. Вперше запропоновано та обґрунтовано для реалізації обчислювальних методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем технологію динамічної компіляції CUDA-ядра, яка забезпечує функціонування програмних агентів поведінкової моделі бджолиної колонії в середовищі NVIDIA CUDA, що у сукупності забезпечило зниження часової складності ідентифікації інтервальних моделей систем.

3. Подальшого розвитку набула агентно-орієнтована архітектура програмної системи для ідентифікації інтервальних моделей систем, що поєднує об'єктно-орієнтовану структуру компонентів із модульною організацією

обчислювальних ядер CUDA та забезпечує гнучкість, масштабованість, використання GPU-ресурсів, що у сукупності при реалізації обчислювальних процедур ідентифікації інтервальних моделей систем знижує їх часову складність.

4. Подальшого розвитку набуло комп'ютерне середовище для математичного моделювання систем на основі аналізу інтервальних даних, яке на відміну від існуючих, імплементує інтерпретатор базисних функцій для побудови моделей та об'єднує паралельне функціонування програмних агентів і їх динамічну компіляцію, що у сукупності спрощує доступ користувача до модулів інтервального моделювання та знижує часову складність побудови моделей.

4. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота представлення наукових результатів у публікаціях.

Дисертація містить 218 сторінок друкованого тексту, з яких основна частина займає 123 сторінок і включає 28 рисунків та 15 таблиць. Список використаних джерел налічує 125 найменувань, а робота містить три додатки.

Дисертацію виконано українською мовою грамотно та на високому стилістичному рівні. Використана наукова термінологія є загальноприйнятою, а стиль викладу теоретичних і практичних результатів дослідження, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їхню чіткість, логічність та доступність для сприйняття й практичного застосування.

Зміст дисертації дозволяє однозначно зрозуміти основні положення, висновки та рекомендації автора. Загальний стиль викладу гарантує адекватне сприйняття матеріалу та правильне розуміння наукових тверджень. Оформлення та структура дисертації повністю відповідають вимогам академічних і атестаційних стандартів.

Дисертацію перевірено на наявність академічного плагіату, і отримані результати підтверджують високий рівень оригінальності тексту. Індивідуальний стиль автора чітко простежується впродовж усієї роботи. Не виявлено текстових запозичень або нецитованого використання результатів інших дослідників. Дисертаційна робота повністю відповідає принципам академічної доброчесності.

Основні результати дисертаційного дослідження у достатньому обсязі відображено у 8 наукових публікаціях, серед яких 6 індексовані у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science. Загалом автором опубліковано 3 статті у фахових наукових виданнях та 5 робіт у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій. Ці публікації всебічно відображають ключові теоретичні й практичні результати дисертації, підтверджуючи повноту, репрезентативність та достовірність наукових висновків дослідження.

5. Практичне значення результатів дисертації. Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні готового програмного рішення для ефективною ідентифікації інтервальних математичних моделей без прив'язки до конкретної предметної області майбутніх досліджень. У процесі роботи автор розробив комп'ютерне середовище з графічним інтерфейсом користувача, що

підтримує керування проєктами, імпорт/експорт CSV/JSON файлів, валідацію введених параметрів та експериментальних даних, візуалізацію результатів у вигляді графіків, профілювання та журналювання основних фаз ідентифікації.

Теоретичне значення дослідження полягає в подальшому розвитку ідентифікації інтервальних математичних моделей. Інтерпретатор базисних функцій для побудови структури моделей відкриває можливості застосування тригонометричних та логарифмічних функцій для опису складних об'єктів та процесів прикладних предметних областей.

6. Зауваження та дискусійні положення щодо змісту дисертації.

Загалом дисертаційне дослідження виконане на високому науковому та прикладному рівні. Разом з тим, з огляду на складність досліджуваної проблематики, окремі аспекти роботи мають дискусійний характер, що є природним і потребує певних уточнень. У цьому контексті доцільно висловити низку коментарів і рекомендацій, спрямованих на подальше вдосконалення та поглиблення дослідження.

1. У другому розділі дисертації запропоновано паралельну обчислювальну схему на метаевристичних алгоритмах оптимізації, що імітують ройовий інтелект штучної бджолоїної колонії. Однак обґрунтування вибору саме цього підходу подано недостатньо докладно. Було б доцільно у першому розділі включити порівняльний аналіз відомих алгоритмів цього класу та продемонструвати переваги використання методів, заснованих на поведінковій моделі бджолоїної колонії, у порівнянні з альтернативними підходами того ж типу.

2. У дисертації доцільно було б подати докладніший опис імплементації інтерпретатора базисних функцій для побудови моделей, оскільки це основний будівельний блок для формування множини елементів для структурної ідентифікації і є важливою складовою новизи, якій можна надати подальшого розвитку в майбутньому.

3. У тексті дисертації наявні окремі стилістичні неточності та окремі граматичні помилки у формулюванні деяких тверджень.

Водночас зазначені зауваження не зменшують загальної наукової та практичної цінності дисертаційного дослідження.

6. Висновки.

З огляду на актуальність обраної тематики, масштаб і якість проведених досліджень, повноту виконання поставлених наукових і прикладних завдань, новизну та обґрунтованість отриманих результатів, практичну значущість сформульованих висновків і рекомендацій, належне висвітлення матеріалів у наукових публікаціях за темою дисертації, а також відсутність порушень академічної доброчесності — дисертаційна робота «Ідентифікація інтервальних моделей систем програмними агентами бджолоїної колонії у середовищі NVIDIA CUDA» повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6. – 9 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р.

№ 44, а її автор, Кіндзерський Олександр Віталійович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Рецензент:

професор кафедри комп'ютерних наук
Західноукраїнського
національного університету
доктор технічних наук, професор



Андрій МЕЛЬНИК

Підпис: <i>Андрій Мельник</i>
Завіряю: * <i>Ана Семенюк</i>
НАЧАЛЬНИК ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ <i>Ана Семенюк</i>