

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

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

*доктора технічних наук, професора, професора кафедри
інформаційних систем та мереж Національного університету
«Львівська політехніка»*

Литвина Василя Володимировича

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

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Математичне моделювання є ключовою ланкою в сучасних інформаційних системах. Системи прийняття рішень відзначаються широким використанням математичних моделей, реалізованих за допомогою програмних засобів. Розроблення програмного забезпечення, що надасть можливість проводити ідентифікацію моделей систем без прив'язки до прикладної області є важливим науковим завданням. Вибір інтервального підходу зумовлений кількістю вхідних даних і представленням їх невизначеності. Задачі структурної та параметричної ідентифікації на основі інтервальних даних відзначаються NP-обчислювальною складністю. Для розв'язування цього класу задач використовують метаевристичні алгоритми оптимізації. Останнім часом широкого застосування набули алгоритми мультиагентного пошуку, одним з яких є алгоритм бджолоїної колонії. Збільшення кількості агентів і розмірності оптимізаційної задачі, яка є задачею ідентифікації, різко зростає обчислювальна складність даного підходу, що обмежує застосування таких методів в існуючих програмних середовищах. Зниження часової складності є важливою задачею, що розглядається в роботі і забезпечується через функціонування агентів мультиагентної системи паралельно, зокрема із використання сучасних високопродуктивних обчислень на графічних прискорювачах NVIDIA. Таким чином науково-технічне завдання розроблення методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем програмними

агентами метаевристичного алгоритму бджолоїної колонії у середовищі NVIDIA CUDA є актуальним.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

2.1. Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, яка складається з анотації, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Логічна структура роботи визначається її метою та сформульованими науково-практичними завданнями.

У **вступі** обґрунтовано актуальність тематики дисертаційного дослідження, чітко сформульовано його мету та основні завдання. Подано узагальнену характеристику наукової новизни та практичної значущості отриманих результатів. Окрему увагу приділено апробації положень роботи та публікаціям за її матеріалами, із детальним зазначенням особистого внеску автора у спільних наукових працях.

У **першому розділі** уточнено сутність ідентифікації інтервальних моделей систем. Досліджено інтервальний підхід до представлення даних та подано основні принципи інтервальної арифметики. Розглянуто сучасні метаевристичні алгоритми, зокрема алгоритм штучної бджолоїної колонії.

На основі опрацьованих даних встановлено необхідність розроблення обчислювальних методів ідентифікації інтервальних моделей систем, які ґрунтуються на застосуванні мультиагентного алгоритму штучної бджолоїної колонії, що виконується паралельно. Сформульовано постановку задачі дослідження, спрямовану на зменшення часової складності розглянутих методів.

У **другому розділі** описано постановку задач параметричної і структурної ідентифікації інтервальних моделей систем та наведено детальні схеми паралельного алгоритму. Обґрунтовано вибір технології NVIDIA CUDA для організації мультиагентної системи ідентифікації за рахунок масово паралельних обчислень на графічних процесорах. Запропоновано гібридну схему обчислень, де логічні блоки алгоритму виконуються на центральному процесорі, а паралельні обчислення функції мети на графічному процесорі NVIDIA, що добре співставляється з SIMT архітектурою CUDA. Описано шаблон ядра з динамічною спеціалізацією і компіляцією для обчислення функції мети, що є універсальним для різних прикладних задач.

У **третьому розділі** описано агентно-орієнтовану архітектуру програмної системи для ідентифікації інтервальних моделей. Представлені UML-діаграми формалізують як статичну структуру, так і динаміку системи. Компонентні та

класові моделі відображають межі відповідальності модулів і ключові колаборації; діаграми станів описують життєві цикли контролера АБК і CUDA-виконавця з явними точками відновлення після збоїв; діаграма послідовностей показує конвеєр пакетного оцінювання та місця накладання операцій. Графічний інтерфейс користувача реалізує сценарії керування експериментами: конфігурування параметрів, імпорт/експорт CSV/JSON, збереження/відновлення проєктів, візуалізацію перебігу та результатів у реальному часі, інформування про прогрес довготривалих запусків.

У **четвертому розділі** наведено застосування розробленої програмної системи ідентифікації інтервальних моделей систем для прикладних задач: розглянуто прикладні задачі екологічного моделювання шкідливих викидів автотранспорту, а саме побудова одновимірної моделі поширення концентрації окису вуглецю перпендикулярно до дорожнього полотна і побудова двовимірної моделі розподілу концентрації діоксиду азоту; розглянуто побудову статичної інтервальної моделі оцінювання достовірності контенту, який розміщується в зазначеній мережі; розглянуто побудову моделі динаміки відновлення кутів рухливості суглобів верхніх кінцівок під час реабілітації за допомогою арттерапії.

Висновки по роботі висвітлюють отримані результати та за своїм рівнем відповідають вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт.

Додатки до роботи є змістовними, підтверджують та відображають результати роботи та містять довідки і акти про впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження.

Структура дисертації повністю відповідає логіці й послідовності рішення поставлених задач.

2.2. Основні наукові результати дисертаційної роботи є обґрунтованими в достатній мірі. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ґрунтуються на всебічному аналізі отриманих результатів та використанні наукових підходів сучасної теорії і практики побудови і застосування методів аналізу інтервальних даних та їх програмної інтерпретації. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, одержаних у дисертації, підтверджується результатами експериментальних досліджень, а також впровадженням розробок у практику. Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можна зробити висновок, що мета дисертаційної роботи в ході виконання дослідження досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

Основні наукові положення, результати та висновки дисертації отримані здобувачем самостійно, є новими, достатньо обґрунтованими та підтверджуються даними комп'ютерних експериментів та апробацією основних положень на всеукраїнських та міжнародних конференціях.

Здобувачем отримано наступну наукову новизну:

вперше:

- розроблено обчислювальні методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем із застосуванням програмних агентів, що виконують функції бджолоїної колонії, запропоновано формулювання функцій мети в контексті інтервальних даних і адаптовано фази алгоритму бджолоїної колонії для паралельного виконання, що забезпечило стійкий глобальний пошук без втрати інтервальної семантики одночасно з зменшенням часової складності реалізації методу;

- розроблено технологію застосування середовища NVIDIA CUDA для масово-паралельної оцінки функції мети: формування CUDA-ядер під конкретну тілесність моделі та їхня динамічна компіляція: для реалізації обчислювальних методів ідентифікації інтервальних моделей систем;

набули подальшого розвитку:

- агентно-орієнтована архітектура програмної системи для ідентифікації інтервальних моделей систем, яка поєднує об'єктно-орієнтовану структуру компонентів із модульною організацією обчислювальних ядер CUDA, що забезпечує гнучкість, масштабованість, використання GPU-ресурсів та забезпечує зниження часової складності обчислювальних методів інтервальних моделей систем;

- комп'ютерне середовище для математичного моделювання систем на основі аналізу інтервальних даних з графічним інтерфейсом користувача, що підтримує керування проєктами, імпорт/експорт CSV/JSON, валідацію параметрів, візуалізацію перебігу пошуку та результатів у реальному часі, профілювання, що окрім зниженої часової складності побудови моделей через паралелізм, спрощує доступ користувача до модулів інтервального моделювання.

4. Дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях

4.1. Дисертаційну роботу викладено на 218 сторінках друкованого тексту, з них 123 сторінок основного тексту, де наведено 28 рисунків та 15 таблиці,

список використаних джерел складає 125 найменувань. Робота містить 3 додатки.

Дисертацію написано українською мовою, з високим рівнем стилістики. Використана наукова термінологія є загальноприйнятною, а стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій робить їх доступними для сприйняття та використання. Зміст дисертації дозволяє отримати чітке уявлення про основні положення, висновки і рекомендації автора. Стиль викладення матеріалів досліджень і наукових положень забезпечує їх належне розуміння. Оформлення дисертації відповідає всім необхідним атестаційним вимогам.

4.2. Дотримання вимог академічної доброчесності. Дисертація пройшла перевірку на академічний плагіат, результати перевірки підтверджують високу індивідуальність роботи. У всьому тексті чітко простежується авторський стиль. Не виявлено текстових запозичень чи використання результатів інших науковців без належних посилань на джерела.

4.3. Основні результати опубліковані в 8 наукових працях, зокрема, 3 статті у наукових періодичних виданнях, 5 публікацій у матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, 6 робіт входять до міжнародних наукометричних баз Scopus та Web of Science.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Практичне значення роботи полягає у створенні обчислювальних методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем із застосуванням програмних агентів в середовищі NVIDIA CUDA і програмних засобів, що їх реалізує.

Зауваження до дисертації

Зважаючи на якісне виконання дисертаційного дослідження, необхідно звернути увагу на окремі дискусійні питання, поради та зауваження до роботи:

1. У першому розділі дисертаційної роботи доцільно розширити огляд, доповнивши його порівняльним аналізом сучасних метаевристичних алгоритмів оптимізації.

2. У другому розділі варто було б детальніше описати стратегію процесу розпаралелення на графічному процесорі NVIDIA CUDA, що стосується вибору розмірності блоків для виконання CUDA-ядра.

3. Необхідно було графічний інтерфейс користувача порівняти з існуючими рішеннями, зокрема щодо зручності користування, інформативності й адаптивності до різних сценаріїв використання та різних прикладних задач.

4. У четвертому розділі, для кожної прикладної задачі, варто було б додати порівняльну характеристику розробленої послідовної та паралельної обчислювальної схеми.

Однак наведені зауваження не мають принципового значення та не знижують наукової цінності дисертаційної роботи в цілому.

6. Висновки. Представлена дисертаційна робота «Ідентифікація інтервальних моделей систем програмними агентами бджолоїної колонії у середовищі NVIDIA CUDA» має обґрунтовану актуальність, містить завершені наукові дослідження, результати яких мають наукову новизну та практичну значимість. У роботі розв'язано актуальне наукове завдання розроблення методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем програмними агентами метаевристичного алгоритму бджолоїної колонії у середовищі NVIDIA CUDA. Отримані результати відіграють важливу роль для розвитку галузі знань 12 Інформаційні технології та спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертаційної роботи, сформовану наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, повноту викладу у наукових працях та відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій», 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 від 12 січня 2022р. № 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».

Офіційний опонент:

професор кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Василь ЛИТВИН

Василь Литвин
Володимир секретар
Р.Брадичевська

