

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

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

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

Манжули Володимира Івановича

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

Актуальність теми дисертації зумовлена широким використанням математичних моделей, реалізованих за допомогою програмних засобів, у сучасних інформаційних технологіях та системах підтримки прийняття рішень. Програмна реалізація методів структурної та параметричної ідентифікації математичних моделей на основі інтервальних даних відзначається NP обчислювальною складністю. Збільшення розмірності оптимізаційної задачі, яка є задачею ідентифікації, спричиняє зростання обчислювальної та часової складності, що обмежує застосування таких методів в існуючих програмних середовищах.

Тому виникає потреба у розробці інноваційних обчислювальних методів і програмних рішень, що забезпечують зниження часової складності розв'язування задач структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем, а також програмного середовища, що надасть користувачам можливості розв'язувати широкий спектр прикладних задач.

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

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.

Вступ містить обґрунтування актуальності обраної теми, формулювання мети та основних завдань дослідження. Надано узагальнену характеристику наукової новизни та практичної цінності досягнутих результатів. Також висвітлено апробацію ключових положень роботи, перелік публікацій за

матеріалами дисертації та детально визначено особистий внесок автора у колективні наукові роботи.

Розділ 1 присвячено теоретичному огляді проблеми параметричної та структурної ідентифікації інтервальних моделей систем. Проведено огляд існуючих методів, з акцентом на їхніх перевагах та обмеженнях. На підставі цього аналізу обґрунтовано необхідність розробки обчислювальних методів для забезпечення зниження часової складності розв'язування задач ідентифікації.

Розділ 2 присвячений постановці та розв'язуванню задач ідентифікації. Вперше запропоновано обчислювальні методи структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем, що ґрунтуються на застосуванні програмних агентів, що виконують функції поведінкової моделі бджолоїної колонії паралельно. Додатково 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 бджолоїної колонії в середовищі NVIDIA CUDA, що у сукупності забезпечило зниження часової складності ідентифікації інтервальних моделей систем.

Розділ 3 обґрунтовує використання мультиагентного підходу для ідентифікації інтервальних моделей систем. Детально описано агентно-орієнтовану архітектуру 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 знижує часову складність при реалізації обчислювальних процедур ідентифікації інтервальних моделей систем

У **розділі 4** описано прикладне застосування розробленого комп'ютерного середовища для математичного моделювання систем на основі аналізу інтервальних даних. Розглянуто прикладні задачі екологічного моніторингу, оцінювання достовірності веб-контенту та реабілітації пацієнтів з порушенням рухливості верхніх кінцівок. Наведені результати апробації свідчать, що запропоновані обчислювальні методи ідентифікації інтервальних моделей систем та розроблене комп'ютерне середовище придатне для застосування до побудови широкого класу моделей – динамічних і статичних моделей та дискретних моделей з розподіленими параметрами – незалежно від предметної області та розмірності прикладних задач.

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.

Подані наукові результати дисертаційного дослідження достатньою мірою обґрунтовані. Наукові положення, висновки та рекомендації розроблені на основі всебічного аналізу результатів, отриманих із використанням передових

наукових підходів сучасної теорії та практики, зокрема методів інтервального аналізу даних та їхньої програмної інтерпретації. Достовірність усіх одержаних положень і висновків підтверджується результатами проведених експериментальних досліджень, а також успішною практичною імплементацією розроблених рішень. Виходячи з аналізу змісту, можна констатувати, що мета дисертаційної роботи була повністю досягнута, і робота відповідає критеріям завершеної наукової кваліфікаційної праці.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

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

Результати дисертаційної роботи, що претендують на наукову новизну: вперше:

- розроблено обчислювальні методи ідентифікації інтервальних моделей систем, які ґрунтуються на застосуванні мультиагентного алгоритму штучної бджолоїної колонії, що виконується паралельно, що забезпечило зниження часової складності ідентифікації інтервальних моделей систем;

- запропоновано та обґрунтовано для реалізації обчислювальних методів ідентифікації інтервальних моделей систем використання середовища NVIDIA CUDA, що завдяки динамічній компіляції CUDA-ядра забезпечує функціонування програмних агентів поведінкової моделі бджолоїної колонії паралельно і призводить до зниження часової складності;

набули подальшого розвитку:

- програмні агенти для ідентифікації інтервальних моделей систем, що поєднують об'єктно-орієнтовану структуру компонентів із модульною організацією обчислювальних ядер CUDA та забезпечують гнучкість, масштабованість, використання GPU-ресурсів, що у сукупності при реалізації обчислювальних процедур ідентифікації інтервальних моделей систем знижує їх часову складність;

- програмне середовище для ідентифікації систем на основі аналізу інтервальних даних, яке на відміну від існуючих, імплементує інтерпретатор базисних функцій, підтримує 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. Дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових результатів в опублікованих працях

Дисертаційну роботу викладено на 218 сторінках друкованого тексту, з них 123 сторінки основного тексту, де наведено 28 рисунків та 15 таблиць, список використаних джерел складає 125 найменувань. Робота містить 3 додатки.

Дисертацію написано українською мовою, з високим рівнем стилістики. Використана наукова термінологія є загальноприйнятою, 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.

Дисертація пройшла перевірку на академічний плагіат, і результати 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.

Основні результати опубліковані у 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

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у розвитку наукових засад побудови інтервальних моделей систем незалежно від предметної області та розмірності прикладних задач, а також можливість побудови динамічних, статичних та дискретних моделей з розподіленими параметрами.

Практичне значення полягає в розробці та апробації комп'ютерного середовища для математичного моделювання систем на основі аналізу інтервальних даних. Варто відмітити, що програмна система імплементує інтерпретатор базисних функцій для побудови моделей та об'єднує паралельне функціонування програмних агентів і їх динамічну компіляцію, що у сукупності спрощує доступ до модулів інтервального моделювання.

6. Зауваження до дисертації

Поряд із якісним виконанням дисертаційного дослідження, варто звернути увагу на окремі дискусійні питання присутні в роботі:

1. Постановку задачі ідентифікації інтервальних моделей систем в роботі здебільшого продемонстровано з використанням різницевого оператора. Враховуючи, що об'єктом дослідження є також статичні моделі та моделі з розподіленими параметрами, доцільно було б навести формалізований опис переходу від узагальненого різницевого оператора до систем алгебричних рівнянь, що описують статичні режими, або різницевих схем для розподілених процесів.

2. У другому розділі, при обґрунтуванні ефективності розпаралелення, було б бажаним навести теоретичну оцінку максимального прискорення згідно із законом Амдала. Це дозволило б чіткіше визначити межі ефективності запропонованого підходу та виокремити вплив послідовної складової алгоритму (керування агентами на CPU) на загальну продуктивність системи.

3. При аналізі часової складності в розділі 3 порівняння проводиться між CPU та GPU реалізаціями. Проте, варто було б навести порівняння ефективності також із багатопотоковою реалізацією на CPU. Це дозволило б об'єктивніше обґрунтувати доцільність використання саме графічних прискорювачів порівняно з сучасними багатоядерними процесорами для даного класу задач.

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

7. 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 зменшення часової складності методів структурної та параметричної ідентифікації інтервальних моделей систем за допомогою програмних агентів 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 дисертації, сформовану наукову новизну, 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 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, доцент



Володимир МАНЖУЛА

Підпис	Володимир Манжула
Завіряю:	Алла Селік (СЧ)
НАЧАЛЬНИК ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ	