

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Сушка Сергія Володимировича

на тему «Методи оптимального розпаралелювання програм мікропроцесорних систем для підвищення їх ефективності», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Актуальність теми дисертації

Важливим етапом розробки програмного забезпечення є його оптимізація з метою покращення параметрів при застосуванні у обчислювальних системах з різними технічними характеристиками. Важливу роль оптимізація програмного забезпечення відіграє, зокрема, в мікропроцесорних обчислювальних системах з обмеженими ресурсами. Сьогодні широко поширені такі мікропроцесорні системи як, наприклад, системи «Інтернету речей», вбудовані системи, мобільні пристрої, тощо, де, крім швидкодії, значну роль відіграють такі складові ефективності, як енергоспоживання, обсяг пам'яті, що використовується, та інші. У загальному випадку, оптимізоване програмне забезпечення споживає менше ресурсів для своєї роботи або характеризується більшою швидкістю. Параметри оптимізації в кожному випадку можуть вибиратися індивідуально, в залежності від умов функціонування. Найчастіше це час виконання, обсяг коду програми або обсяг даних. Розглядаючи обчислювальну систему як апаратно-програмний комплекс, для оптимізації має сенс також враховувати можливість зниження загальної споживаної енергії, що витрачається на обчислення, а також, в деяких випадках, можливість зниження енергоспоживання. При цьому важливо мати на увазі, що при розпаралелюванні завдань енергоспоживання на певних проміжках часу може зростати, але, в той же час, загальна необхідна енергія обчислень може знизитися.

Одним з важливих напрямків оптимізації програмного забезпечення є покращення параметрів його швидкодії. Оптимальна реалізація тих чи інших алгоритмів дозволяє розширити функціональні можливості обчислювальної системи без використання додаткових ресурсів. Якщо ж немає необхідності у розширенні функціональних характеристик мікропроцесорної системи, то у вивільнений час мікропроцесор може бути переведено у режим зниженого енергоспоживання до наступного запуску програми.

Дослідження з теми дисертації здійснювалось в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова Національної академії наук України, та пов'язані з відомчими науково-дослідними темами НАН України, а саме: «Розвиток методів зниження енергоспоживання обчислювальних

УЛМЕ вх. 187

28.04.2021р.

систем за рахунок оптимізації обробки масивів даних» (шифр – ФРІСК)» (номер державної реєстрації 0114U000879) – проведено дослідження зниження енергоспоживання при проєктуванні мікропроцесорних систем за рахунок ефективного розпаралелювання циклів; «Розвиток теорії, розробка новітніх інформаційних технологій в задачах комплексного моделювання та управління процесами перетворення та використання енергії (шифр: НОВІНТЕХ)» (номер державної реєстрації 0117U004347) – розроблено метод визначення оптимальних розмірів прямокутних блоків розбиття ітераційного простору операторів циклу мікропроцесорних програм на основі дискретного методу рою частинок; «Розвиток теорії, розробка методів та засобів реалізації гібридних експертно-моделюючих комп'ютерних систем в задачах комплексного управління перетворенням енергії (шифр – ГІБРИД)» (номер державної реєстрації 0112U000050) – проведено дослідження щодо комбінування різних методів оптимізації програм з метою вибору найкращої за часом виконання програми комбінації методів.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота складається з анотації, списку публікацій здобувача, переліку скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 161 сторінку, у тому числі 126 сторінок основного тексту, 15 таблиць та 74 рисунків.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми дослідження, встановлено зв'язок з науково-прикладними програмами, планами та темами, сформульована мета роботи, основні напрями досліджень і методи їх вирішення. Надано опис об'єкта та предмета досліджень, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про апробацію результатів роботи та публікації.

У *першому розділі* виконано загальний аналіз ефективності комп'ютерних програм. Розглянуто проблеми енергоспоживання обчислювальних пристроїв. Наведені основні складові частини в структурі енергоспоживання, фактори, що впливають на енергоспоживання обчислювальних систем. Сформульовано проблему енергоспоживання електронних пристроїв на рівні транзисторів як функцію від багатьох змінних, що включає як один із параметрів частоту перемикання транзистора. Аналіз формул залежності енергоспоживання дав змогу стверджувати, що зменшення кількості операцій, а отже, і кількості перемикань транзисторів, зменшить енергоспоживання під час обчислень. Проведено порівняльний аналіз загальних підходів, що використовуються для зменшення енергоспоживання апаратно-програмних комплексів.

Автором розглянута доцільність оптимізації програмного забезпечення в контексті «зелених» обчислень.

Описана трирівнева ієрархія методів оптимізації комп'ютерних програм та наведено особливості оптимізаційних методів на кожному рівні.

У *другому* розділі виконано аналіз існуючих методів оптимізації програмного забезпечення. В рамках проведеного аналізу розглядається доцільність застосування класу оптимізацій, які ґрунтуються на перетворенні початкового коду в початковий код. Зроблено висновок, що такий підхід надає гнучкості процесу оптимізації, оскільки не залежить від апаратної платформи.

В розділі розглядається полієдральна модель – математична модель комп'ютерних програм, яка забезпечує компактне відображення великої кількості операцій. Вибір даної моделі пояснюється тим фактом, що обчислювальні цикли програм є типовим прикладом її застосування та тим, що дану модель зручно використовувати саме для модифікації вкладених циклів при оптимізації програм. Описано ряд математичних методів, що використовуються для опису полієдральної моделі та наведено приклади застосування моделі при оптимізації циклів комп'ютерних програм.

В розділі визначено поняття ітераційного простору як інструменту представлення обчислювальних циклів у вигляді n -вимірного опуклого багатогранника з вузлами, що представляють обчислювальні ітерації циклу. Такий ітераційний простір є основою представлення полієдральної моделі. Наведено ряд прикладів обчислювальних циклів комп'ютерних програм та їх ітераційний простір у аналітичному представленні та графічному вигляді.

У розділі розглянуто метод розбиття обчислювальних циклів на блоки та визначена його ефективність на тестових програмах. Отримані дані свідчать, що застосування методу дає можливість скоротити час виконання тестових програм, та зроблено висновок про тісну залежність часу їх виконання від розмірів блоків розбиття.

У *третьому* розділі запропоновано використання дискретного методу рою часток для пошуку оптимальних розмірів блоків розбиття. Автор наводить переваги та недоліки методу.

На основі методу розбиття на блоки та дискретного методу рою часток автором запропоновано метод інтелектуального блочного розбиття. Наведено блок-схему алгоритму запропонованого методу.

Проведено дослідження щодо підбору коефіцієнтів дискретного методу рою часток, які забезпечують більш швидкий пошук розмірів блоків розбиття за меншу кількість ітерацій та за меншу кількість часток методу рою часток.

У *четвертому* розділі автором описані результати експериментів, що підтверджують ефективність методу інтелектуального блочного розбиття. Для цього на множині тестових програм виконано розпаралелювання

з застосуванням методу інтелектуального розбиття ітераційного простору на блоки та отримані коефіцієнти енергоефективності для двох платформ, а також мінімальний час обчислень для різних параметрів методу рою часток. Отримані результати показали перевагу запропонованого методу порівняно з класичним методом розбиття на блоки.

Додатки містять графічні матеріали, які були отримані в результаті досліджень, початкові коди запропонованого методу інтелектуального блочного розбиття та акт впровадження.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій

Базові наукові положення, на яких ґрунтується дослідження, автор формулює з посиланням на авторитетні наукові видання, що не викликає сумніву в їх достовірності.

Нові наукові результати, які одержані в ході дисертаційного дослідження, сформульовані на основі коректних логічних викладок та з дотриманням наукового методу дослідження.

Для підтвердження теоретичних положень, що лежать в основі методу інтелектуального розбиття, автором проведено серію експериментальних досліджень на множині тестових програм. Проведені експерименти показали підвищення ефективності розпаралелювання програм за показниками часу виконання та енергоспоживання.

Позитивні результати реальних експериментів підтверджують достовірність теоретичних положень дисертації. Теоретичні результати узгоджуються з даними експериментів і не суперечать відповідним публікаціям інших авторів.

Дисертаційна робота містить науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати. Наукові положення характеризуються єдністю змісту та свідчить про особистий внесок здобувача в науку.

Основні результати та наукова новизна дисертаційних досліджень

У дисертаційній роботі Сушка С. В. вирішена науково-технічна задача теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження ефективності застосування методу інтелектуального блочного розбиття до розпаралелювання обчислювальних циклів у програмах для мікропроцесорних систем.

Зокрема, автором отримані такі наукові результати:

1. Запропоновано новий загальний підхід до розпаралелювання обчислювальних циклів у програмах для мікропроцесорних систем, який відрізняється від відомих визначенням оптимального рішення щодо розбиття ітераційного простору оператора циклу на окремі блоки.

2. Запропоновано комплексну оцінку рівня оптимізації коду

програм, яка відрізняється від відомих оцінок тим, що крім відносного зменшення часу обчислень враховує також покращення їх енергоефективності.

3. Вперше розроблено метод інтелектуального блочного розбиття, що виконує пошук оптимальних розмірів прямокутних блоків розбиття ітераційного простору операторів циклу мікропроцесорних програм на основі дискретного методу рою часток, який може бути застосовано до довільних обчислювальних циклів, написаних мовами програмування C або C++.

4. Вдосконалено метод оцінки часу виконання тестових програм при використанні різноманітних методів розбиття на блоки, який базується на автоматичному послідовному багаторазовому запуску тестових програм і фіксації отриманих результатів швидкодії, що можуть бути в подальшому проаналізовані.

5. Вдосконалено дискретний метод рою часток шляхом визначення коефіцієнтів методу, а саме – початкового коефіцієнту інерції, індивідуального та соціального коефіцієнтів, при яких пошук розмірів блоків розбиття в задачі прискорення швидкодії виконується швидше, ніж класичним методом.

6. Вдосконалено використання дискретного методу рою часток для задачі визначення оптимального розміру блоків при розпаралелюванні ітераційного простору операторів циклів програм шляхом визначення кращих початкових даних для розташування часток рою, що зменшує число ітерацій для знаходження оптимального рішення.

Значущість результатів дисертації для науки полягає у розробці методу інтелектуального блочного розбиття ітераційного простору операторів циклів програм, що базується на поєднанні методу оптимізації програмного забезпечення, а саме, методу розбиття на блоки, з дискретним методом рою часток, що застосовується для пошуку оптимальних розмірів блоків розбиття прямокутної форми. Запропонований метод інтелектуального блочного розбиття є ітераційним методом для вибору оптимальних розмірів блоків розбиття, що оцінює виконання комп'ютерних програм за цільовою функцією оптимізації. Застосування методу інтелектуального блочного розбиття додатково прискорює час виконання комп'ютерних програм порівняно з класичним методом розбиття на блоки (tiling). Оцінка ефективності розбиття відбувається на кожному ітераційному кроці тільки після виконання програми, що дозволяє враховувати також додатково реакцію компілятора на вибраний режим розпаралелювання.

Значущість результатів дисертації для практики визначається тим, що програмна реалізація розробленого методу дозволяє:

– виконати оптимізацію програмного забезпечення за часом, що є меншим за час виконання, ніж при використанні класичного методу розбиття на блоки;

– гнучко балансувати між якістю та швидкістю оптимізації комп'ютерних програм за часом виконання шляхом зміни кількості ітерацій пошуку;

– покращити в більшості випадків енергоефективність обчислень.

Результати дисертаційної роботи були використані та впроваджені при розробці програмного комплексу обробки даних супутникових каналів в ТОВ «Дельта СПЕ». Метод інтелектуального блочного розбиття використовується в проєкті «TRACO», який розробляється кафедрою програмної інженерії Західнопоморського університету в м. Щецин.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

За результатами виконаних досліджень опубліковано 16 наукових праць, серед яких: 1 стаття у періодичних наукових виданнях інших держав, 1 розділ в колективній монографії, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus, 4 наукових статті (у тому числі 3 статті у наукових фахових виданнях), 8 – у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, з яких 3 індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus та 2 у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

Оформлення дисертації та автореферату

Зміст автореферату, за виключенням незначних відхилень, відповідає змісту дисертації. Автореферат містить основні положення, висновки та рекомендації, подані в дисертації, а також всю необхідну для оцінки роботи інформацію.

Стиль викладення дисертації та автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, які відповідають меті дослідження.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає існуючим вимогам та рекомендаціям відповідних положень.

Зауваження до дисертації та автореферату

1. Існують певні розбіжності між текстом дисертації та автореферату, зокрема, при формулюванні задач дисертаційної роботи в авторефераті пропущена фраза “розробці методів оптимізації паралельних програм для мікропроцесорних систем”.

2. На сторінці 5 автореферату перераховані 3 рівні методів оптимізації. Далі вказано, що особлива увага приділяється рівню, якого немає серед перерахованих. Тому з тексту не зрозуміло, до якого рівня автор відносить свої дослідження, і місце цього рівня серед перерахованих.

3. В авторефераті та дисертації автор використовує скорочення S2S, яке має у широкому використанні дещо інший сенс, ніж той, що використовує автор. Тому бажано було б детальніше пояснити та обґрунтувати необхідність такого скорочення.

4. При формулюванні першого пункту новизни автор допустив неточність. Точніше було б записати, що запропоновано загальний підхід до розпаралелювання програм.

5. При формулюванні другого пункту новизни краще було б відзначити, що запропонована комплексна оцінка оптимальності розпаралелювання, яка включає також покращення енергоефективності.

6. Оскільки існує велика кількість методів програмного та апаратного розпаралелювання, то у розділі 2 дисертаційної роботи необхідно було навести порівняння цих методів з підходом, який запропонований автором.

7. В розділі 2.1 розглянуто поняття ітераційного простору, для представлення якого було обрано модель багатогранників. Обґрунтування даної моделі було б переконливіше за наявності порівняння запропонованого підходу з іншими моделями, наприклад, з моделями, які задають ітераційний простір у вигляді графа залежностей, редукованого графа, з використанням множин і відношень, тощо.

8. У кожному підрозділі «Висновки» наведено короткий зміст відповідного розділу. Автору варто було б у кожному підрозділі також висвітлити значення отриманих результатів та їх місце у проведеному дослідженні.

9. У розділі 3 бажано було переконливіше обґрунтувати вибір методу рою часток шляхом визначення тих переваг, які він має при застосуванні до реалізації методу інтелектуального блочного розбиття у порівнянні з іншими методами багатопараметричної оптимізації, які широко застосовують в сучасних задачах аналізу даних.

10. В розділі 3.3 отримано результати, які підтверджують залежність отриманого результату за методом рою часток від їх початкової позиції та коефіцієнтів методу. Але їх оптимальні параметри вибрано на основі відносно невеликого набору експериментів, які не дають гарантії оптимальної поведінки методу для широкого кола задач.

11. В роботі використано блоки прямокутної форми при оптимізації розбиття, але стверджується, що метод може бути використано для трикутної, ромбовидної та паралелограмної форми блоків. Не зрозуміло, на підставі яких досліджень чи розрахунків автор робить такий висновок. Таке твердження є істотним розширенням можливостей методу, а тому вимагає додаткових досліджень.

12. В дисертаційній роботі наявна незначна кількість граматичних та стилістичних помилок.

Загальні висновки до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена актуальній темі, містить нові науково обґрунтовані та практично важливі результати, які у своїй сукупності забезпечують вирішення актуальної науково-прикладної задачі. Вказані недоліки не впливають суттєво на науковий рівень дисертаційної роботи та не знижують загального позитивного враження від дисертаційного дослідження Сушка С. В.

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яке відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567 (зі змінами), а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент

Професор кафедри обчислювальної
техніки факультету інформатики та
обчислювальної техніки
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
докт. техн. наук, професор



Михайло НОВОТАРСЬКИЙ

Підпис засвідчую

Заступник декана ФІОТ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
канд. техн. наук., доцент



Андрій ПИСАРЕНКО

