

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Сеньківського Всеволода Миколайовича

на дисертаційну роботу **Антоніва Володимира Ярославовича**

«Інформаційні технології паралельного сортування та пошуку даних»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Актуальність теми. Сучасний етап розвитку інформаційних технологій сортування та пошуку даних характеризується розширенням галузей їхнього застосування, значна частина з яких пов'язана з накопиченням, сортуванням і пошуком даних у реальному часі. До таких застосувань належать системи збирання та попередньої обробки телеметричних даних, управління складними об'єктами, автоматизовані системи багаторівневого управління технологічними процесами, де на нижніх рівнях накопичуються великі обсяги даних, які потребують попереднього опрацювання у реальному часі. При попередньому опрацюванні масивів даних найчастіше доводиться використовувати операції сортування та пошуку даних, які можуть займати до 40% із загального часу роботи з базами даних. Для ефективного опрацювання потоків даних необхідні інформаційні технології паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі, що ґрунтуються на нових і вдосконалених методах, моделях, які повинні бути орієнтовані на паралельно-потокове надходження даних та адаптацію до інтенсивності їх надходження.

Для сортування і пошуку максимальних та мінімальних значень у реальному часі необхідне створення спеціалізованих апаратних засобів з високою ефективністю використання обладнання. Забезпечити такі вимоги можна розробленням методів паралельно-вертикального сортування і пошуку даних, особливістю яких є надходження даних паралельно-розрядними зрізами, використання однотипних процесорних елементів з регулярними та локальними зв'язками, суміщення у часі процесів приймання та опрацювання даних.

При створенні ефективних програмно-апаратних засобів інформаційних технологій сортування та пошуку максимальних і мінімальних значень у реальному часі необхідно розробити просторово-часові моделі з механізмами узгодження інтенсивності надходження даних з інтенсивністю виконання сортування та пошуку програмно-апаратними засобами. Процес переходу від моделей до структури апаратних засобів є складним і вимагає взаємної адаптації алгоритмів і структур.

Проектування інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку максимальних і мінімальних значень у реальному часі вимагає інтегрованого підходу, який охоплює методи, моделі та засоби сортування та пошуку даних, методи їх розпаралелення, сучасну елементну базу, засоби автоматизованого проектування та автоматизації процесу програмування.

Таким чином, тема дисертаційної роботи, присвячена розробленню нових, удосконаленню існуючих методів, моделей і засобів інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання є актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано згідно з планами науково-дослідних та навчальних робіт кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка», в тому числі в межах таких держбюджетних науково-дослідницьких робіт:

- «Розвиток теорії синтезу нейронних мереж на НВІС-структурах для обробки сигналів у робототехнічних системах» (номер держ. реєстр. 0112U001204);
- «Інструментальні засоби та інтелектуальні компоненти синтезу інтегрованих автоматизованих систем управління» (номер держ. реєстр. 0113U003186);
- «Інтелектуальні інформаційні технології багаторівневого управління енергоефективністю регіону» (номер держ. реєстр. 0117U004450).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі. Наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи загалом є достатньо обґрунтованими. В ході досліджень автор коректно використовує: методи паралельного сортування – для розроблення апаратно-програмних засобів сортування масивів даних; методи паралельного пошуку максимальних і мінімальних значень – для розроблення апаратно-програмних засобів пошуку максимальних і мінімальних значень; елементи теорії графів, теорію та методи розпаралелення алгоритмів, теорію проєктування та синтезу програмно-апаратних засобів – для розроблення паралельних програмно-апаратних засобів сортування та пошуку даних.

Висновки чітко висвітлюють одержаний ефект від проведених досліджень, а рекомендації конкретно вказують на переваги отриманих результатів.

Достовірність та цінність результатів дисертаційної роботи підтверджена належною практичною їх апробацією та впровадженням.

Наукова новизна отриманих результатів. За результатами виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано актуальну наукову задачу – розроблено нові та вдосконалено існуючі методи, моделі і засоби, що стали основою інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання. При цьому отримано такі нові результати:

вперше розроблено:

- інформаційну технологію паралельного сортування даних, яка завдяки використанню розроблених і вдосконалених методів, функціональних моделей паралельно-потокowego сортування даних та врахуванню інтенсивності надходження даних, розмірів масивів даних і засобів реалізації забезпечує виконання сортування даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання;
- метод паралельно-вертикального пошуку максимальних і мінімальних чисел у масивах, який внаслідок паралельного опрацювання i -го розрядного зрізу масиву чисел і паралельного формування слів управління за-

безпечує зменшення часу пошуку, який визначається в основному розрядністю чисел;

удосконалено:

- метод паралельного сортування злиттям, який завдяки використанню базової операції об'єднання двох масивів з одночасним формуванням елементів зростаючого і спадаючого масивів забезпечує зменшення часу сортування;
- метод паралельно-вертикального сортування даних, який завдяки підрахунку одиниць у i -му вхідному розрядному зрізі та паралельному формуванню i -го розрядного зрізу відсортованого масиву чисел забезпечує зменшення часу сортування.

Практичні результати роботи, їх рівень та ступінь впровадження.

Прикладні результати дисертаційної роботи полягають у розробленні інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання, в основі яких:

1. Сортування одновимірних масивів даних на графічному процесорі GPU із використанням вдосконаленого методу паралельного сортування злиттям забезпечує зменшення часу сортування на 31%.

2. Використання процесу злиття двох масивів шляхом одночасного формування елементів зростаючого і спадаючого масивів забезпечує зменшення часу сортування вдвічі порівняно з послідовним злиттям.

3. Апаратна реалізація розробленого методу паралельно-вертикального пошуку максимальних і мінімальних чисел забезпечує просте модульне нарощування кількості входів і зменшення часу пошуку, який в основному визначається розрядністю чисел.

4. Використання методу паралельно-вертикального сортування даних під час розроблення апаратних засобів забезпечує їх реалізацію з високою ефективністю використання обладнання та сортування інтенсивних потоків даних у реальному часі.

5. Використання розроблених інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних забезпечує виконання сортування та пошук даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Результати дисертаційної роботи використано під час розроблення засобів збирання та попереднього опрацювання телеметричних даних на ДП «Львівський державний завод «ЛЮРТА»» та впроваджено у навчальний процес кафедри автоматизованих систем управління Національного університету «Львівська політехніка».

Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Аналіз сукупності наукових результатів дисертаційної роботи Антоніва В.Я. свідчить про їх цілісність і засвідчує особистий внесок автора в науку стосовно розроблення нових та удосконалення існуючих методів, моделей і засобів інформаційних технологій паралельного сортування і пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Основні результати дослідження опубліковано у 18 друкованих працях, серед яких 8 статей у наукових фахових виданнях України та 1 стаття у науковому періодичному іноземному виданні, 8 тез доповідей на міжнародних конференціях та 1 патент України на винахід.

Оцінка основного змісту дисертації та її структури. Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Вона складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 150 найменувань і трьох додатків. Структурно аналізована праця відповідає основним вимогам щодо оформлення дисертаційних робіт. Зміст дисертації свідчить про її завершеність з огляду на повноту розкриття озвучених у роботі завдань, що підтверджує наведена нижче характеристика основних структурних підрозділів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначені предмет та об'єкт дослідження, показано зв'язок з науковими програмами, планами, темами, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів. Наве-

дено дані про впровадження результатів у практику, особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, а також відомості про апробацію та публікацію основних результатів роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи проаналізовано галузі застосування, методи, моделі та засоби інформаційних технологій сортування та пошуку даних. Визначено, що в значній частині галузей застосування інформаційних технологій сортування та пошуку даних вимагається сортування та пошук максимальних і мінімальних значень у реальному часі при інтенсивному паралельному надходженні потоків даних. Розглянуто багаторівневі автоматизовані системи управління технологічними процесами, енергоефективністю тощо, на нижніх рівнях яких виконують збирання та попередню обробку технологічних даних. Основними операціями попередньої обробки є сортування та пошук даних, які необхідно виконувати в реальному часі. Результати сортування та пошуку даних передаються на вищі рівні, де здійснюють їх накопичення та попереднє інтелектуальне опрацювання.

Здійснено оцінювання складності методів й алгоритмів сортування і пошуку даних та встановлено, що їх реалізація вимагає великої кількості операцій попарного порівняння та перестановки даних і у більшості випадків має квадратичну залежність. Показано, що більшість методів і алгоритмів сортування відрізняються вибором даних для попарного порівняння. Визначено, що для паралельної реалізації алгоритмів сортування та пошуку даних вони повинні бути добре структурованими з детермінованим переміщенням даних, ґрунтуватися на однотипних операціях із регулярними та локальними зв'язками.

Проаналізовано сучасну елементну базу та засоби розробки, які використовуються для створення програмно-апаратних засобів інформаційних технологій сортування та пошуку даних у реальному часі.

Визначено перелік завдань, які необхідно виконати для реалізації теми дисертаційної роботи.

В другому розділі сформульовано вимоги до засобів інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних, основною з яких є забезпе-

чення умов реального часу. Удосконалено та орієнтовано методи сортування масиву чисел вставкою та злиттям на паралельне та паралельно-потокове сортування одновимірного масиву. Розроблено функціональні моделі алгоритмів паралельного сортування потоків даних у реальному часі. Сформульовано вимоги до алгоритмів паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі. Удосконалено метод сортування масиву чисел вставкою та орієнтовано його на паралельне та паралельно-потокове сортування одновимірного масиву. Удосконалено метод злиття та орієнтовано його на паралельне та паралельно-потокове сортування масивів даних. Розроблено функціональні моделі алгоритмів паралельного сортування потоків даних у реальному часі.

У третьому розділі удосконалено та орієнтовано метод злиття на паралельно-вертикальне сортування даних у реальному часі завдяки використанню базової операції, яка ґрунтується на попарному порозрядному порівнянні та перестановці трьох і більше чисел, які поступають старшими розрядами вперед. Використання такої базової операції забезпечує зменшення часу сортування. Удосконалено та орієнтовано метод вставки на паралельно-вертикальне сортування даних у реальному часі. При виконанні такого сортування вхідні дані надходять паралельно розрядними зрізами, починаючи зі старших розрядів. Для зміни інтенсивності сортування пропонується використовувати базову операцію з вертикально-груповим порівнянням та перестановкою чисел.

Розроблено метод паралельно-вертикального сортування одновимірного масиву із N чисел, які надходять паралельно розрядними зрізами, старшими розрядами уперед. Особливістю такого сортування є паралельне формування у кожному такті розрядного зрізу N відсортованих чисел.

Розроблено функціональну модель паралельно-вертикального сортування одновимірного масиву чисел. Розроблено функціональну модель паралельно-вертикального пошуку максимальних (мінімальних) чисел.

У четвертому розділі розроблено інформаційну технологію паралельного сортування даних та інформаційну технологію паралельного пошуку даних. Реалізовано з використанням технології CUDA програмні засоби паралельного

сортування масивів даних удосконаленим методом злиття та методом паралельно-вертикального сортування масивів даних. Розроблено на базі ПЛІС фірми Altera та середовища проєктування Quartus II апаратні засоби паралельно-вертикального сортування та пошуку максимального числа в одновимірному масиві даних. Інформаційна технологію паралельного сортування даних ґрунтується на інтегрованому підході, який охопив: дослідження, розроблення методів і алгоритмів паралельного сортування масивів даних; розроблення функціональних моделей алгоритмів паралельного сортування потоків даних у реальному часі; сучасну елементну базу (GPU, ПЛІС) та засоби автоматизованого проєктування; нові архітектурні рішення, орієнтовані на технології надвеликих інтегральних схем.

Розроблено інформаційну технологію паралельного пошуку даних, основними компонентами якої є: засоби збирання та передавання даних розрядними зрізами; розроблені методи паралельно-вертикального пошуку максимальних і мінімальних чисел; функціональні моделі пошуку у реальному часі максимальних і мінімальних чисел у масивах; засоби автоматизованого проєктування апаратного і програмного забезпечення; програмні та апаратні засоби пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Висновки по роботі сформульовані чітко, повністю висвітлюють отримані наукові та прикладні результати.

Список використаної літератури достатньо інформативний, відображає результати опрацювання автором значної кількості джерел, у тому числі іноземних публікацій, з досліджуваної проблематики, доволі повно охоплює предметну область.

Зміст реферату та основні положення дисертації ідентичні. Оформлення дисертації та автореферату відповідають існуючим вимогам.

Зауваження до дисертації

1. У першому розділі недостатньо повно висвітлено галузі застосування інформаційних технологій паралельного сортування і пошуку та внесок ін-

- ших науковців, які працювали над розробленням методів, моделей і засобів інформаційних технологій паралельного сортування і пошуку даних.
2. У другому розділі сформульовані вимоги до засобів інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних та вимоги до алгоритмів паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі. Доцільно було б ці підрозділи перенести у перший розділ, де проводиться аналіз інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку.
 3. Четвертий розділ дисертації перевантажений детальним описом засобів інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних, який доцільно було б перенести в додатки.
 4. Розроблена інформаційна технологія паралельного пошуку (Рис 4.2. на с.127) вимагає розширеного опису для розуміння її функціонування.
 5. В дисертаційному дослідженні також варто більше уваги приділити існуючим програмним та апаратним аналогам і провести їх повноцінне функціональне порівняння.
 6. У дисертаційній роботі зустрічаються понятійні, стилістичні та граматичні неточності, а також граматичні та орфографічні помилки, які, проте, не впливають на її значимість та наукову цінність.

Вказані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи та можуть розглядатися як рекомендації до подальших наукових досліджень та впровадження отриманих результатів.

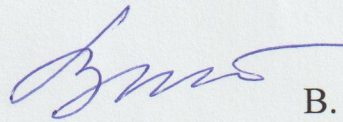
Висновки

Дисертація Антоніва Володимира Ярославовича «Інформаційні технології паралельного сортування та пошуку даних» за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю та апробацією результатів є завершеною працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують актуальне наукове завдання розроблення нових та удосконалення існуючих методів, моделей та програмно-апаратних засобів інформаційних технологій паралельного сортування та пошуку даних у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Результати дослідження уможливають паралельно-вертикальний пошук максимальних і мінімальних чисел у масивах, який внаслідок паралельного опрацювання i -го розрядного зрізу масиву чисел і паралельного формування слів управління зменшує час пошуку. Удосконалено процеси сортування даних завдяки використанню базової операції об'єднання двох масивів з одночасним формуванням елементів зростаючого і спадаючого масивів при паралельному сортуванні та підрахунку одиниць в i -му вхідному розрядному зрізі й паралельному формуванні i -го розрядного зрізу відсортованого масиву чисел при паралельно-вертикальному сортуванні зменшує час сортування.

За актуальністю тематики, рівнем виконання, новизною результатів, їх науковим і практичним значенням, обґрунтованістю висновків дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», що висуваються до кандидатських дисертацій з технічних наук. Зміст дисертації відповідає спеціальності 05.13.06 – інформаційні технології, а її автор, Антонів Володимир Ярославович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент
завідувач кафедри комп'ютерних наук
та інформаційних технологій
Української академії друкарства
доктор технічних наук, професор



В. М. Сеньківський

Підпис професора Сеньківського В. М. завіряю:
Вчений секретар Української академії друкарства
кандидат технічних наук, доцент



З. М. Сельменська