

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Караваєва Костянтина Дмитровича
«**Методи і алгоритми розв'язання класичних та узагальнених задач
упорядкування вершин орграфів**»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність обраної теми дисертації. Ряд практично важливих задач, таких як багатопотокова обробка даних, формування розкладів, планування виробництва, розподіл ресурсів тощо, нерозривно пов'язані з математичною теорією паралельного упорядкування. Дослідження в рамках цієї теорії зводяться до розв'язання спеціальних оптимізаційних задач на графах. Складність структури вхідних даних та обмежень у цих задачах обумовлює те, що більшість з них належать до класу NP -важких. Точні алгоритми з невеликою алгоритмічною складністю були отримані лише для деяких спеціальних підкласів, інші ж відомі точні методи розв'язання цих задач є малоприматними до застосування на практиці. З цього випливає потреба в розробці нових алгоритмів (точних, наближених, евристичних) які дозволили б ефективно вирішувати такі задачі на практиці.

Гнучкість математичних моделей дозволяє враховувати різноманітні особливості реальних процесів: обмеження на терміни початку і завершення окремих робіт, їх обсяг та потрібні ресурси для виконання, можливість переривання, логістичні затримки, необхідність досягнення певних цілей тощо. Комбінування навіть декількох з цих умов значно ускладнює пошук шуканого розв'язку, що додатково підтверджує актуальність тематики, яка досліджувалась дисертантом.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Важливою ознакою актуальності також є відповідність деяких проведених здобувачем досліджень темам ініціативних науково-дослідних робіт «Математичні моделі, методи та алгоритми розв'язання задач аналізу складних систем» (№ держреєстрації 0119U101302, 2019–2021 рр.), «Розробка та реалізація методів оптимального функціонування складних систем» (№ держреєстрації

0122U001466, 2022–2024 рр.) при кафедрі обчислювальної математики та математичної кібернетики Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Особистий внесок здобувача. Результати дисертаційного дослідження отримані особисто здобувачем, вони включають: ґрунтовний підбір та огляд наукової літератури для відображення сучасного етапу розвитку математичного апарату теорії оптимального упорядкування, розробку нових алгоритмів, методів і підходів до пошуку розв'язку задач упорядкування та підтвердження їх наукової цінності шляхом строгого теоретичного доведення та/або практичної перевірки з використанням обчислювальних експериментів; формулювання нових постановок задач та встановлення зв'язку між підкласами задач упорядкування, аналіз та інтерпретацію отриманих даних, підготовку наукових статей для фахових збірників та тез доповідей для науково-дослідних конференцій.

Наукова новизна представлених автором результатів. Наукова новизна дисертації не викликає жодних сумнівів. До основних наукових результатів проаналізованої роботи можна віднести наступні:

- теоретично обґрунтовано можливість зведення будь-якої класичної задачі оптимального упорядкування до задачі із щільним упорядкуванням та шириною заданої парності;
- отримана необхідна умова існування щільних упорядкувань та запропоновані ефективні алгоритми її перевірки для загальної та спеціальної структур графів;
- побудовано наближений алгоритм для задач з щільними упорядкуваннями, який заснований на методі гілок та меж з обмеженою глибиною пошуку;
- теоретично обґрунтовано можливість зведення задачі зі змінним значенням ширини упорядкування до класичної задачі;
- розглянуто клас узагальнених задач оптимального упорядкування з неповним завантаженням: показана можливість зведення до інших відомих класів задач паралельного упорядкування, запропоновано наближений алгоритм до розв'язання задач з цього класу.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені алгоритми і методи представляють найбільший інтерес для розвитку автоматичного розпаралелення програмного коду. Паралелізація обчислень в загальному випадку пов'язана для розробників з багатьма складнощами, які потребують від них значної кваліфікації, досвіду та компетенції. Розвиток цієї технології здатен істотно спростити це завдання.

До галузей можливого застосування також належать моніторинг критичних показників різноманітних систем у режимі реального часу, окремі питання використання ресурсів та логістики, планування виробництва тощо. Деякі з отриманих положень можуть використовуватися при викладанні тематичних дисциплін та слугувати відправною точкою для нових напрямків досліджень задач упорядкування.

Публікації за темою дисертації. Результати дисертаційної роботи в достатній мірі представлені у 5 наукових статтях: одна з них опублікована у виданні, яке індексується наукометричною базою Scopus; три – у наукових фахових виданнях України категорії «Б» з фізико-математичних наук та ще одна стаття – в інших наукових фахових виданнях України з фізико-математичних наук. Також отримані положення додатково висвітлені у восьми тезах доповідей у збірниках матеріалів міжнародних та регіональних наукових конференцій і семінарів, що свідчить про достатню апробацію проведеного дослідження.

Структура дисертації, її обсяг і аналіз основного змісту. Текст дослідження структурно розділено на вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел (116 найменувань, з них: 92 латиницею, 24 кирилицею) та додатки. Загальний обсяг роботи складає 178 сторінок (основний текст займає 161 сторінку; містить 42 рисунки та 16 таблиць).

Вступ містить інформацію про актуальність теми, зв'язок з науковими темами МОН, мету і завдання дослідження, новизну та практичну значимість його результатів, а також відомості про публікації та апробацію.

Перший розділ містить опис відомих результатів теорії паралельного упорядкування, зокрема постановки задач, відомості про їх приналежність до класу *NP*-важких, алгоритми розв'язання з прикладами застосування та оцінки

похибки для окремих алгоритмів; а також деякі практичні проблеми, що обумовили розвиток цього математичного апарату.

Другий розділ містить результати щодо модифікації алгоритму, заснованого на максимальному паросполученні, для знаходження щільних упорядкувань; скорочення перебору у методі гілок та меж за рахунок перерахування підграфів без ізоморфізму; необхідну умову щільності шуканого упорядкування, отриману шляхом аналізу апріорних уявлень, пов'язаних з можливістю заповнення місць та обмеженістю їх місткості, та методи, які є наслідками з цієї умови.

Особливу цінність представляє отримане дисертантом твердження про можливість зведення довільної класичної задачі упорядкування до задачі з щільним упорядкуванням. Воно дозволяє значно спростити та пришвидшити обчислювальні експерименти, пов'язані з визначенням точності алгоритмів: достатньо перевіряти алгоритми на графах з щільними упорядкуваннями, для яких значення довжини упорядкування відоме і його не потрібно визначати за допомогою методу гілок та меж.

Третій розділ містить твердження про зв'язок класичної задачі із задачею зі змінною шириною, отримане аналогічно до тверджень з другого розділу, яке дозволяє застосовувати деякі результати для класичних задач також і до цих задач; аналіз розробленого наближеного алгоритму розв'язання цих задач для випадку вхідних дерев та нової постановки задачі упорядкування.

Слід виділити останній результат: ця постановка є узагальненням задачі упорядкування з призначенням виконавців, в якій виконавці додатково мають визначені проміжки бездіяльності. Автором було модифіковано алгоритм, заснований на максимальному паросполученні, аби він враховував наявні в задачі обмеження, та досліджено його властивості. Також показана можливість зведення до задачі з призначенням шляхом введення фіктивного виконавця та проведено порівняння запропонованого алгоритму та алгоритму, заснованого на лексикографічному поміченні.

Четвертий розділ містить опис елементів програмного продукту, які використовуються для реалізації роботи із графами та описаних в роботі

алгоритмів, а також керівництво користувача з інструкціями щодо самостійного розв'язування ним задач упорядкування.

Висновки у кожному з розділів резюмують описані в них окремі частини дослідження. Загальні висновки наведені наприкінці дисертаційної роботи та наочно демонструють виконання завдань дослідження.

Оформлення дисертації Караваєва К.Д. відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Аналіз роботи дозволяє зробити висновок, що здобувач Караваєв К.Д. в результаті виконання дисертаційної роботи повністю оволодів методологією наукової діяльності, що сприяло отриманню суттєвих наукових результатів.

Проте є кілька зауважень та питань дискусійного характеру до деяких положень дисертаційної роботи.

1. На стор. 27 сформульовано 2 основні класичні задачі упорядкування. Але не наведено результатів про складність цих задач. Чи є в загальному випадку ці задачі *NP*-важкими?
2. На тій же сторінці використовується не зовсім зрозумілий термін "технологічні обмеження".
3. На стор. 54 Твердження 2 відноситься до всіх упорядкувань, або до конкретних класів? Чи є задача, для якої формулюється твердження 2 *NP*-важкою?
4. Розумно дати визначення поняттю критичного шляху для упорядкування (стор.3).
5. На стор.72 невизначений термін "майже нульова ймовірність". Це може бути оцінкою, або граничним значенням. В останньому випадку краще використовувати термін "майже завжди".
6. Немає визначення "відкритої вершини графа"
7. На стор.145 можливо пропущені слова в описі булева аргументу в описі другого конструктора класу: «Створити випадковий граф чи випадковий граф з вершинами на критичних шляхах?»

Вище вказані зауваження не мають принципового характеру. Робота добре оформлена та структурована, написана академічною державною мовою

з використанням сучасної наукової термінології. Всі отримані результати проаналізовано та обґрунтовано в повній мірі. Вважаю, що автором виконані всі вимоги, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії.

Загальний висновок. Вважаю, що дисертаційна робота Караваєва Костянтина Дмитровича на тему «Методи і алгоритми розв'язання класичних та узагальнених задач упорядкування вершин орграфів», що представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика є закінченою науковою працею, містить оригінальні наукові результати отримані автором самостійно. Робота відповідає всім вимогам 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 (зі змінами), а її автор Караваєв К.Д. заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри економіки
Запорізького національного університету

Ігор КОЗИН

Підпис професора Козіна І.В.
засвідчую

Проректор з наукової роботи
ЗНУ



Геннадій Васильчук