

ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента Троцька Олександра Олександровича

на дисертаційну роботу Єнгаличева Сергія Олександровича

**«Метод планування задач у розподілених інформаційних системах
за невизначеності метаданих»,**

подану на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»

галузі знань «Інформаційні технології»

1. Актуальність теми дисертаційного дослідження

Сучасні розподілені інформаційні системи функціонують у хмарних, туманних і крайових обчислювальних середовищах, для яких характерні неоднорідність ресурсів, динамічність навантаження, комунікаційні затримки та неповнота відомостей про параметри задач і стан середовища виконання. За цих умов якість планування безпосередньо впливає на тривалість виконання комплексів задач, дотримання цільових рівнів обслуговування, рівномірність використання ресурсів і витрати на підтримання обчислювальної інфраструктури.

Переважає частина традиційних детерміністичних та евристичних планувальників спирається на апіорно відомі або достатньо точні оцінки тривалості задач, комунікаційних витрат і доступності ресурсів. У реальних системах ці припущення часто не виконуються, що спричиняє деградацію розкладу, повторне перепланування та порушення дедлайнів. Отже, розроблення методу, здатного адаптувати рішення до невизначеності метаданих і змін стану системи, є актуальним науково-технічним завданням.

Дисертаційна робота Єнгаличева Сергія Олександровича спрямована на підвищення ефективності процесу планування та розподілу задач у гетерогенних розподілених інформаційних системах шляхом поєднання графових моделей, прогнозування, навчання з підкріпленням та автоматизованого налаштування параметрів. Обрана тема відповідає сучасним тенденціям розвитку

інтелектуальних систем керування ресурсами й має як наукову, так і прикладну значущість.

2. Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими програмами, планами і темами

Дослідження виконано на кафедрі кібербезпеки та інформаційних технологій Навчально-наукового інституту інформаційних технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця відповідно до планів науково-дослідної роботи кафедри та інституту.

Тематика роботи узгоджується з напрямками досліджень, пов'язаними з розподіленими інформаційними системами, захистом і опрацюванням даних у хмарних інфраструктурах, інтелектуальним керуванням обчислювальними ресурсами та застосуванням методів штучного інтелекту. Здобувач брав участь у виконанні відповідних досліджень у частині розроблення моделей і методів підвищення ефективності функціонування розподілених систем за невизначеності вхідних даних.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність

Мета, об'єкт і предмет дослідження сформульовані коректно та взаємно узгоджені. Поставлені завдання послідовно охоплюють аналіз відомих підходів, побудову математичних моделей, формалізацію графа задач, розроблення інтелектуального методу, налаштування його параметрів, експериментальне порівняння та формування практичних рекомендацій.

Для розв'язання поставлених завдань використано системний аналіз, порівняльне узагальнення, теорію графів, оптимізаційні моделі, імітаційне моделювання, методи машинного навчання та штучного інтелекту. Детерміновані залежності подано засобами DAG, стохастичні переходи та невизначеність – засобами GERT; графова мережа уваги GAT застосована для роботи зі структурою

задач і прогнозування параметрів, PPO – для адаптивного призначення та перепланування, Bayesian Optimization – для налаштування конфігурацій.

Достовірність результатів забезпечено порівнянням із базовими алгоритмами FCFS, List Scheduling, HEFT, конфігураціями «DAG-only» і «GERT-only», абляційним аналізом складових GAT/PPO/BO, моделюванням різних рівнів невизначеності метаданих і статистичною обробкою результатів. Використання бутстреп-довірчих інтервалів, непараметричних критеріїв та контролю множинних порівнянь підвищує обґрунтованість сформульованих висновків.

Експериментально встановлено скорочення загального часу виконання комплексу задач до 31 %, зменшення стандартного відхилення навантаження до 53 %, підвищення частки задач, завершених у межах SLO, на 12,4 відсоткового пункту. Середній час прийняття рішення становив близько $2,1 \pm 0,4$ мс на задачу в офлайн-режимі та близько $3,0 \pm 0,6$ мс в онлайн-режимі, що підтверджує можливість використання методу в системах із жорсткими вимогами до оперативності планування.

Позитивною рисою є орієнтація не лише на покращення інтегральних показників продуктивності, а й на експлуатаційні характеристики: дедлайн-надійність, накладні витрати планування, стійкість до похибок метаданих і сумісність із політиками доступу. Це наближає дослідження до потреб реальних розподілених платформ.

4. Структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списків використаних джерел і додатків. Загальний обсяг становить 226 сторінок, обсяг основного тексту становить 171 сторінку. Робота містить 26 рисунків і 11 таблиць, бібліографія загалом налічує 152 найменування.

У першому розділі здійснено аналіз вимог до планування задач, шляхів підвищення продуктивності розподілених систем і відомих планувальників. У другому розділі розроблено математичні моделі опрацювання даних, логічного

розмежування доступу та планування розповсюдження даних з урахуванням неоднорідності сутностей. У третьому розділі формалізовано модель планування та розроблено інтелектуальний метод. Четвертий розділ присвячено архітектурі експериментального прототипу, дизайну дослідження, абляційному аналізу, моделюванню невизначеності та порівняльній оцінці результатів.

Структура роботи загалом відповідає логіці поставлених завдань. Висновки до розділів і загальні висновки відображають основні результати, а додатки містять перелік публікацій та матеріали щодо впровадження.

Розділи утворюють послідовний цикл створення прикладного інтелектуального планувальника: постановка проблеми, побудова моделей, конструювання алгоритмічного конвеєра, створення прототипу, оцінювання та формування рекомендацій щодо розгортання.

5. Наукова новизна одержаних результатів

Аналіз змісту дисертації та публікацій здобувача дає підстави вважати, що одержані результати мають наукову новизну, є особистим внеском автора та розвивають методологію інтелектуального планування задач у гетерогенних розподілених інформаційних системах.

По-перше, розроблено метод інтелектуального планування задач у розподілених інформаційних системах за невизначеності метаданих, який інтегрує прогнозування критичного шляху, адаптивне перепланування та автоматизоване налаштування параметрів. Відмінною рисою є поєднання детермінованого і стохастичного графового подання DAG+GERT із GAT, PPO та Bayesian Optimization. Реалізація у вигляді прототипу планувальника дала змогу експериментально підтвердити скорочення makespan до 31 % порівняно з базовими підходами.

По-друге, удосконалено модель процесу планування задач розповсюдження даних з урахуванням відмінностей між сутностями. Модель об'єднує неоднорідність сутностей, залежності типу «обчислення – передавання –

споживання даних» і комунікаційні витрати в єдиному процесі планування. Її використання забезпечило відтворюване оцінювання впливу передавання даних на балансування та зменшення стандартного відхилення навантаження до 53 %.

По-третє, набули подальшого розвитку моделі опрацювання та логічного розмежування доступу до даних з урахуванням різноманітності сутностей. Обмеження доступу включено безпосередньо до кроку прийняття рішення планувальника, а не застосовано після побудови розкладу. Це зменшує кількість недопустимих призначень і повторних перепланувань та забезпечує заявлене підвищення масштабованості до 35 %, практичності реалізації на 25 % і гнучкості налаштувань на 40 % порівняно з базовим рольовим керуванням.

Важливо, що кожен елемент наукової новизни доведено до програмної реалізації та перевірено у складі прототипу. Це забезпечує узгодження теоретичних положень із практичною процедурою побудови й корекції розкладу.

6. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях та апробація

За темою дисертації опубліковано 5 наукових статей, з яких чотири – у фахових виданнях, що індексуються у Scopus, одна – у фаховому виданні категорії «Б». Додатково опубліковано 16 праць апробаційного характеру, серед них дві публікації у матеріалах конференцій IEEE, що індексуються у Scopus, одна одноосібна праця у збірній монографії та матеріали доповідей міжнародних конференцій.

Основні положення роботи доповідалися на конференціях IEEE DESSERT, Free and Open Source Software, CED, «Проблеми інформатизації», «Сучасні інформаційні системи та технології в цифровому суспільстві», «Безпека у кіберсфері», «Цифрова економіка» та на наукових семінарах кафедри. Тематика публікацій охоплює моделі передавання й опрацювання даних, розмежування доступу, аналіз планувальників, інтелектуальний метод планування та його експериментальне дослідження.

Кількість і зміст опублікованих праць загалом забезпечують належне представлення основних наукових результатів дисертації. Особистий внесок здобувача у співавторських роботах конкретизовано.

7. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованого методу та програмного прототипу під час проектування і модернізації підсистем планування хмарних, туманних та крайових обчислювальних середовищ. Метод може бути інтегрований як окремий модуль, що взаємодіє з підсистемами збору метаданих, політиками доступу та засобами виконання задач.

Практичні рекомендації передбачають офлайн або періодичне навчання PPO, використання Bayesian Optimization як повільного контуру налаштування та онлайн-застосування GAT і PPO для побудови допустимих призначень з урахуванням ресурсних та безпекових обмежень. Запропоновано систему експлуатаційних показників, що охоплює makespan, дотримання SLO, прострочення, накладні витрати, дисбаланс ресурсів і частку відфільтрованих політиками доступу призначень.

Використання результатів підтверджується матеріалами впровадження у діяльність компаній «LineUp» та LLC «Arshilon», а також у навчальний процес Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця.

Запропонований поділ на підготовчий і виконавчий контури, використання активного підграфа та попередня фільтрація недопустимих призначень забезпечують технологічно зрозумілу схему впровадження й подальшого супроводу планувальника.

8. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами ознайомлення з дисертаційною роботою та наведеними посиланнями ознак некоректного використання результатів інших авторів, фабрикації чи фальсифікації даних не виявлено. Запозичені положення

супроводжуються бібліографічними посиланнями, а особистий внесок здобувача у спільних публікаціях зазначено.

9. Дискусійні положення та зауваження

Позитивно оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, вважаю за доцільне висловити такі зауваження та дискусійні положення:

1. Архітектура прототипу описана достатньо детально, проте практичну цінність посилило б наведення формалізованого інтерфейсу інтеграції з типовим оркестратором: складу вхідних метаданих, формату вихідного рішення, механізму повторного планування та обробки відмов.
2. У дисертації порівняння виконано з репрезентативними базовими підходами. Водночас доцільним було б розширити аналіз щонайменше одним сучасним DRL-планувальником, реалізованим у відкритому коді, або детально обґрунтувати неможливість відтворюваного порівняння з ним.
3. Практичні рекомендації щодо використання Bayesian Optimization як повільного контуру є слушними. Проте варто було б чіткіше визначити критерії запуску повторного налаштування: порогове погіршення SLO, зміна профілю навантаження, накопичення помилки прогнозу або фіксований часовий інтервал.
4. Результати впровадження підтверджують прикладну спрямованість роботи, однак у тексті доцільно було б подати узагальнену таблицю «результат – місце впровадження – функція – кількісний ефект – документальне підтвердження». Це спростило б оцінювання безпосереднього зв'язку між науковими положеннями та отриманим практичним ефектом.
5. Термінологічний апарат роботи загалом є коректним, однак трапляються поодинокі мовні й редакційні неточності та різні варіанти написання окремих англomовних скорочень. Перед остаточним поданням доцільно виконати суцільне технічне редагування тексту.

Наведені зауваження мають переважно дискусійний або рекомендаційний характер, не спростовують основних наукових результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

10. Загальна оцінка роботи та її відповідність установленим вимогам

Дисертація Єнгаличева Сергія Олександровича є цілісним теоретико-методичним та експериментальним дослідженням, результати якого утворюють завершений цикл – від формалізації процесу планування і невизначеності метаданих до створення програмного прототипу та рекомендацій щодо інтеграції в реальні інформаційні системи.

Наукові положення роботи мають належний рівень новизни й достовірності, а практична спрямованість підтверджується реалізацією прототипу, впровадженням результатів та можливістю використання розробок у хмарних, туманних і крайових середовищах.

Дисертаційна робота за актуальністю, науковим рівнем, теоретичним і практичним значенням, повнотою висвітлення результатів у публікаціях відповідає 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.

Автор дисертації, Єнгаличев Сергій Олександрович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» галузі знань «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

Начальник кафедри інформаційних систем та технологій
факультету інформаційних технологій ВПІ імені Героїв Крут

кандидат технічних наук, доцент

Олександр ТРОЦЬКО

Підпис засвідчую:

Заступник начальника інституту з наукової роботи
кандидат технічних наук, професор

Григорій РАДЗІВІЛОВ

