

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри Комп'ютерної інженерії Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, **Лашевської Наталії Олександрівни** на дисертаційну роботу Колодюка Андрія Васильовича **«Метод упорядкованої паралельної доставки подій для підвищення стабільності й масштабованості мікросервісних систем на основі технологій асинхронного обміну повідомленнями та аналітичного моделювання»** подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертаційної роботи. Стрімкий розвиток мікросервісних архітектур, хмарних платформ, електронної комерції, фінансових сервісів та інших високонавантажених інформаційних систем зумовлює необхідність забезпечення надійної, впорядкованої та безперервної доставки повідомлень в умовах асинхронної взаємодії між програмними компонентами. Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної проблеми у галузі програмної інженерії, що полягає у розробленні методу упорядкованої паралельної доставки подій, який забезпечує одночасне збереження коректності обробки взаємопов'язаних подій, високої продуктивності та масштабованості мікросервісних систем.

Особливої актуальності набуває запропоноване дослідження в умовах широкого використання брокерів повідомлень із семантикою доставки **at-least-once**, за якої повторна доставка повідомлень, порушення їх послідовності та часткові відмови компонентів можуть призводити до порушення узгодженості бізнес-процесів і деградації функціонування інформаційних систем. Запропоновані автором метод упорядкованого паралелізму, аналітична модель оцінювання продуктивності та архітектура забезпечення безперервності доставки подій комплексно вирішують зазначену проблему, що підтверджує високу практичну значущість і своєчасність проведеного дослідження.

Дисертаційна робота безпосередньо відповідає сучасним тенденціям розвитку розподілених інформаційних систем і подієво-орієнтованих архітектур, оскільки спрямована на подолання суперечності між необхідністю підвищення продуктивності шляхом паралельної обробки подій та забезпеченням їх коректної впорядкованості й безперервності функціонування системи. Це свідчить про актуальність обраної теми, її наукову новизну та практичну цінність для розвитку сучасної програмної інженерії й технологій побудови високонавантажених мікросервісних систем.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані автором, є достатньо обґрунтованими та логічно взаємопов'язаними. Їх достовірність забезпечується використанням сучасного математичного апарату, методів теорії розподілених систем, теорії масового обслуговування, математичного та імітаційного моделювання, теорії ймовірностей, математичної статистики та методів програмної інженерії. Отримані аналітичні результати підтверджено експериментальними дослідженнями, виконаними на основі багаторазового імітаційного моделювання із застосуванням статистичних критеріїв оцінювання достовірності, що свідчить про високий рівень наукової обґрунтованості проведеного дослідження.

Оцінка наукової новизни результатів дисертаційного дослідження.

Рецензована робота характеризується високим рівнем наукової новизни, що підтверджується наступними положеннями:

1. Набув подальшого розвитку метод упорядкованого паралелізму в межах логічного ключа у мікросервісних системах доставки подій на основі прикладного впорядкування поверх брокера повідомлень із використанням маркування подій ідентифікаторами послідовності та механізму відновлення пропущених станів, що дозволяє забезпечити коректне послідовне опрацювання взаємопов'язаних подій за одночасного паралельного виконання незалежних потоків обробки та підвищити продуктивність системи.

2. Вперше розроблено аналітичну модель впливу паралелізму на продуктивність і латентність системи впорядкованої доставки подій у режимі гарантованої доставки з можливими повторами на основі комплексного врахування ідемпотентної обробки, повторної доставки повідомлень, буферизації пропущених станів і використання резервного каналу доставки, що дозволяє формалізовано оцінювати накладні витрати, визначати оптимальний рівень паралелізму та прогнозувати поведінку системи за умов зміни навантаження і часткових відмов.

3. Удосконалено архітектуру забезпечення безперервності доставки подій у мікросервісних системах на основі інтеграції методу упорядкованого паралелізму, аналітичної моделі оцінювання продуктивності та латентності, основного брокера повідомлень, резервного каналу доставки та механізму узгодженого виконання розподілених кроків, що дозволяє підвищити безперервність виконання процесів, скоротити час відновлення після відмов і забезпечити коректність послідовності виконання операцій в умовах часткових збоїв інфраструктури.

Практична цінність отриманих результатів. Отримані в роботі результати мають виражену практичну спрямованість:

1. Набув подальшого розвитку метод упорядкованого паралелізму в межах логічного ключа у мікросервісних системах доставки подій, який на основі прикладного впорядкування поверх брокера повідомлень, використання ідентифікаторів послідовності, внутрішніх черг за ключами та механізму відновлення пропущених станів забезпечує детерміновану впорядкованість обробки подій у всіх досліджених сценаріях. Практичне застосування запропонованого методу дозволяє зберігати коректну послідовність виконання взаємопов'язаних операцій за одночасного паралельного опрацювання незалежних сутностей та забезпечує прискорення обробки подій до 2,42 раза порівняно з базовими підходами в умовах підвищеного навантаження і часткових збоїв.

2. Вперше розроблена аналітична модель впливу паралелізму на продуктивність і латентність системи впорядкованої доставки подій, побудована на основі формалізації процесів, реалізованих методом упорядкованого паралелізму, дозволяє враховувати вплив повторної доставки повідомлень, ідемпотентної обробки, буферизації пропущених станів та використання резервного каналу доставки на характеристики функціонування системи. Практичне використання моделі забезпечує оцінювання накладних витрат, визначення раціонального рівня паралелізму та прогнозування продуктивності системи з відносною похибкою не більше 5,5 %, що дозволяє використовувати її під час проєктування, масштабування та модернізації високонавантажених мікросервісних систем.

3. Удосконалена архітектура забезпечення безперервності доставки подій, побудована на основі інтеграції методу упорядкованого паралелізму, аналітичної моделі оцінювання продуктивності та латентності, основного брокера повідомлень, резервного каналу доставки та механізму узгодженого виконання розподілених кроків, забезпечує скорочення середнього часу відновлення після збою на 76 % (223,5 мс проти 930,2 мс у базовій архітектурі), підвищення частки успішно доставлених подій до 99,79% порівняно з 95,3 % у традиційних рішеннях, а також підтримання частки успішно завершених Saga-транзакцій на рівні 98,9 % проти 31,8 % за умов нестабільної роботи брокера повідомлень. При цьому додаткові накладні витрати за латентністю у штатному режимі функціонування не перевищують 2,4 %, що дозволяє забезпечити високий рівень безперервності, надійності та доступності мікросервісних систем без істотного зниження їх продуктивності.

Повнота висвітлення результатів у наукових публікаціях

Основні результати дисертаційного дослідження достатньою мірою оприлюднені у наукових публікаціях автора. За темою дисертації опубліковано 6 статей у фахових наукових виданнях України, а також публікацію у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus. Результати

роботи апробовано на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях. Аналіз опублікованих праць свідчить про те, що вони повною мірою відображають зміст дисертації, її основні наукові результати та практичні досягнення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження пов'язане з науковими дослідженнями, які проводились у межах науково-дослідних робіт Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій на кафедрі технологій цифрового розвитку, зокрема: «Підвищення ефективності процесу управління 3D принтером з використанням методів машинного навчання» (державний реєстраційний номер РК 0124U001849, термін виконання 2024-2026, ДУІКТ, м. Київ).

Оцінка структури та логіки побудови роботи.

Дисертаційна робота має чітку, логічно виважену структуру та послідовну побудову матеріалу. Кожний розділ є логічним продовженням попереднього та спрямований на досягнення поставленої мети дослідження. У першому розділі здійснено аналіз сучасного стану проблеми та сформульовано постановку наукового завдання, у другому – розроблено метод упорядкованої паралельної доставки подій, у третьому – побудовано аналітичну модель оцінювання продуктивності системи, а у четвертому – запропоновано архітектуру забезпечення безперервності функціонування та проведено експериментальну перевірку отриманих результатів. Така побудова роботи забезпечує логічну завершеність дослідження та підтверджує системність наукового підходу автора.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження.

Оцінка дисертаційного дослідження є позитивною, однак варто звернути увагу на деякі недоліки.

1. У роботі наведено результати експериментального дослідження для різних сценаріїв навантаження та часткових відмов. Проте експериментальна частина могла б бути доповнена аналізом використання обчислювальних ресурсів, зокрема процесорного часу, оперативної пам'яті та мережевого трафіку, що дозволило б комплексніше оцінити ефективність запропонованих архітектурних рішень.

2. У роботі запропоновано комплексне вирішення задачі забезпечення впорядкованої доставки подій у мікросервісних системах. Разом із тим окремі математичні залежності, наведені в аналітичній моделі, потребували б більш детального обґрунтування прийнятих припущень та меж їх застосування, що сприяло б кращому сприйняттю моделі читачем.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам щодо оформлення. Дисертаційна робота Колодюка А.В. характеризується цілісною структурою, послідовністю викладення матеріалу та логічним взаємозв'язком між усіма її розділами. Побудова дослідження є обґрунтованою: від аналізу сучасного стану проблеми та постановки наукового завдання автор послідовно переходить до розроблення методу упорядкованої паралельної доставки подій, побудови аналітичної моделі, удосконалення архітектури забезпечення безперервності функціонування мікросервісних систем та експериментальної перевірки отриманих результатів. Аргументація запропонованих рішень є логічною, а сформульовані висновки повною мірою відповідають поставленим меті та завданням дослідження.

Дисертація відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії, зокрема щодо структури, змісту, оформлення та дотримання чинних нормативних вимог. Автором забезпечено належний науковий стиль викладу матеріалу, коректне використання сучасного термінологічного апарату у сфері програмної інженерії, розподілених інформаційних систем та подієво-орієнтованих архітектур. Робота містить достатню кількість рисунків, таблиць, математичних моделей і результатів експериментальних досліджень, що сприяють кращому сприйняттю та підтверджують достовірність отриманих наукових результатів.

Список використаних джерел охоплює сучасні наукові праці, присвячені проблемам мікросервісних архітектур, асинхронної взаємодії, подієво-орієнтованих систем, забезпечення впорядкованості доставки повідомлень та підвищення відмовостійкості розподілених програмних систем. Обрана методологія дослідження базується на застосуванні методів теорії розподілених систем, теорії масового обслуговування, математичного та імітаційного моделювання, теорії ймовірностей і математичної статистики, що є цілком обґрунтованим та достатнім для досягнення поставленої мети й підтвердження достовірності отриманих результатів.

Загальний висновок щодо змісту дисертації та його відповідності встановленим вимогам є позитивним, що підтверджує ґрунтовну наукову коректність і високу фахову кваліфікацію автора у процесі виконання даного дослідження.

Висновок. Наукове дослідження Колодюка Андрія Васильовича, проведене в рамках дисертаційної роботи, представляє завершене дослідження, виконане на високому науковому рівні.

За рівнем наукової новизни, якістю досліджень та обґрунтованістю висновків дисертаційна робота Колодюка А.В. на тему «Метод упорядкованої паралельної доставки подій для підвищення стабільності й масштабованості

мікросервісних систем на основі технологій асинхронного обміну повідомленнями та аналітичного моделювання» відповідає спеціальності 121 – Інженерія програмного забезпечення, галузі знань 12 «Інформаційні технології» і чинним вимогам п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор – Колодюк Андрій Васильович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний рецензент
завідувач кафедри комп'ютерної
інженерії
Державного університету
інформаційно-комунікаційних
технологій,
кандидат технічних наук, доцент

Наталія Лашевська

Підпис Н. Лашевської

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар
Державного університету
інформаційно-комунікаційних технологій

