

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри Інформаційних систем та технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, **Ткаленко Оксана Миколаївна** 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. Проблема забезпечення стабільності, масштабованості та безперервності функціонування сучасних мікросервісних систем набуває особливої актуальності в умовах широкого впровадження подієво-орієнтованих архітектур, хмарних технологій і платформ асинхронного обміну повідомленнями. Дисертаційна робота спрямована на розв'язання важливої науково-прикладної проблеми у галузі програмної інженерії, що полягає у забезпеченні коректної впорядкованої доставки подій за одночасного збереження високого рівня паралелізму, продуктивності та відмовостійкості мікросервісних систем.

З огляду на постійне зростання навантаження на розподілені інформаційні системи, необхідність підтримки семантики гарантованої доставки повідомлень, а також вимоги до безперервності бізнес-процесів, запропоновані автором метод упорядкованого паралелізму, аналітична модель оцінювання продуктивності та архітектурні рішення щодо резервування каналів доставки є своєчасними та практично значущими. Робота спрямована на усунення суперечності між необхідністю підвищення продуктивності систем шляхом паралельної обробки подій і забезпеченням їх коректної послідовності, що свідчить про тісний зв'язок проведеного дослідження із сучасними тенденціями розвитку розподілених інформаційних систем, хмарних сервісів та технологій програмної інженерії.

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.

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).

Повнота викладу основних результатів дисертації в публікаціях. Основні наукові результати дисертаційного дослідження опубліковані в 12 наукових публікаціях. У тому числі:

- 1 наукова стаття у неперіодичному науковому виданні, що індексуються наукометричною базою Scopus;
- 6 наукових статей у періодичних виданнях України включених до «Переліку наукових фахових видань України»;
- 5 тез доповідей та матеріалів наукових конференцій.

Зауваження до проведеного дисертаційного дослідження.

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

1. В дисертаційній роботі автором переконливо доведено ефективність запропонованого методу для семантики доставки at-least-once. Водночас становило б значний науковий інтерес дослідження можливості його адаптації до інших моделей гарантування доставки повідомлень (наприклад, exactly-once або effectively-once), що могло б окреслити перспективи подальшого розвитку запропонованого підходу.

2. У третьому розділі побудовано аналітичну модель оцінювання продуктивності системи впорядкованої доставки подій, яка враховує повторну доставку повідомлень, буферизацію та ідемпотентність. Разом із тим модель базується на фіксованих параметрах навантаження. Робота виграла б від розгляду сценаріїв із динамічною зміною інтенсивності потоків подій та автоматичним масштабуванням мікросервісів, що ще більше наблизило б результати дослідження до умов експлуатації сучасних хмарних платформ.

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
доцент кафедри інформаційних
систем та технологій
Державного університету
інформаційно-комунікаційних
технологій,
кандидат технічних наук, доцент

Ткаленко Оксана Миколаївна

Підпис

Оксана Ткаченко

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар

Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій

