

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка факультету інформаційних технологій та математики Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

Довженко Надії Михайлівни

на дисертаційну роботу **Колодюка Андрія Васильовича** на тему **«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 в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення»

1.Актуальність теми дисертації

Розвиток сучасного програмного забезпечення дедалі більше спирається на розподілені системи мікросервісного типу, у яких взаємодія компонентів відбувається через асинхронний обмін подіями за посередництва брокерів повідомлень. Зі зростанням масштабів і навантаження таких систем загострюється потреба гарантувати не лише високу пропускну здатність, а й коректність та неперервність обробки – особливо у сферах, де помилка або втрата події має критичні наслідки (фінанси, телекомунікації, логістика, хмарні платформи). Таким чином задача організації надійної доставки подій є однією з пріоритетних у галузі інженерії програмного забезпечення.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю вирішення низки критичних проблем, що обмежують ефективність існуючих рішень. Наявні підходи не забезпечують одночасного дотримання впорядкованості обробки подій у межах логічного контексту та високої продуктивності за рахунок паралельної обробки. В той же час семантика «щонайменше один раз» породжує повторні доставки повідомлень, що вимагає впровадження

механізмів ідемпотентної обробки. Нарешті, часткові відмови компонентів інфраструктури, зокрема брокера повідомлень, порушують безперервність функціонування та потребують збереження стану розподілених транзакцій без їх перезапуску.

Важливим аспектом є те, що модель доставки повідомлень із семантикою «щонайменше один раз» допускає виникнення дублікатів та порушення їхньої послідовності. Водночас реалізація паралельної обробки, яка є необхідною умовою масштабування розподілених систем, ускладнює забезпечення коректного порядку виконання взаємозалежних операцій. Додаткові виклики пов'язані з частковими відмовами компонентів інфраструктури, зокрема брокерів повідомлень, коли виникає потреба підтримувати працездатність системи без втрати інформації про стан розподілених транзакцій. Таким чином, сукупність зазначених проблем об'єктивно обґрунтовує необхідність розроблення нових методів та архітектурних підходів до побудови сучасних розподілених систем.

Таким чином, дисертаційна робота Колодюка А.В. «Метод упорядкованої паралельної доставки подій для підвищення стабільності й масштабованості мікросервісних систем на основі технологій асинхронного обміну повідомленнями та аналітичного моделювання», спрямована на вдосконалення методів упорядкування, аналітичного моделювання продуктивності та забезпечення безперервності доставки подій, є своєчасною, теоретично обґрунтованою та має безпосереднє практичне спрямування на підвищення надійності й масштабованості сучасних мікросервісних систем.

2. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність

Опрацювання тексту дисертації та опублікованих автором праць дає підстави стверджувати, що наукові положення й висновки роботи є належно

обґрунтованими. Дисертант послідовно застосовує адекватний поставленим задачам апарат – теорію розподілених обчислень і подієво-орієнтованих систем для побудови методу, теорію масового обслуговування та системний аналіз для аналітичного моделювання, дискретну математику й теорію алгоритмів для формалізації механізмів упорядкування та відновлення, а також теорію ймовірностей і засоби математичної статистики для оцінювання достовірності результатів.

Загальна оцінка змісту дисертаційної роботи підтверджує, що наукове дослідження виконано автором самостійно та є ґрунтовною, аргументованою й комплексною кваліфікаційною роботою з високим рівнем науково-теоретичної й практичної значущості. Дисертація відзначається чіткою та логічно вибудованою структурою, що засвідчує системний характер наукового підходу до визначення й реалізації завдань відповідно до поставленої мети дослідження. Достовірність результатів підтверджується коректним застосуванням математичного апарату та узгодженістю аналітичних оцінок з даними імітаційного моделювання, отриманими за багаторазовими запусками з фіксованими базовими значеннями та підтвердженими непараметричними статистичними критеріями.

Наукові положення є достатньо обґрунтованими та актуальними..

3. Повнота викладення основних результатів в опублікованих наукових працях

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 12 наукових публікаціях. З них:

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

Ключові теоретичні засади, методичні підходи та практичні результати дослідження доповідалися на науково-практичних конференціях, де отримали позитивну оцінку. Особистий внесок здобувача у працях, виконаних у співавторстві, конкретизовано в переліку публікацій; на захист винесено саме авторські розробки. Кількість і рівень публікацій є достатніми, а повнота висвітлення результатів – відповідною вимогам.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення результатів дисертації. Сукупність отриманих автором положень закладає підґрунтя для побудови надійних мікросервісних систем доставки подій. Передусім звертається увага на формалізацію подієво-орієнтованої моделі та аналітичний опис залежності продуктивності й латентності від рівня паралелізму, що поглиблює теоретичні уявлення про організацію упорядкованої паралельної обробки за семантики «щонайменше один раз».

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що: набув подальшого розвитку метод упорядкованого паралелізму в межах логічного ключа, який реалізує контроль послідовності на прикладному рівні поверх брокера з використанням ідентифікаторів послідовності та відновлення пропущених станів; вперше побудовано аналітичну модель впливу паралелізму на продуктивність і латентність, що спільно враховує повторну доставку, ідемпотентність, буферизацію, нерівномірність навантаження за ключами та резервний канал; удосконалено архітектуру безперервної доставки подій, яка інтегрує зазначені метод і модель з основним та резервним каналами й узгодженим виконанням розподілених кроків.

Практичне значення результатів дисертації. Прикладна цінність роботи виявляється у створенні архітектури, застосування якої забезпечує детерміновану впорядкованість обробки, скорочує середній час відновлення після збою на 76% та підвищує ймовірність успішної доставки події до

99,79%, зберігаючи при цьому переважну більшість розподілених транзакцій навіть за нестабільної роботи брокера. Розроблені рішення доведено до рівня програмної реалізації, фрагменти якої винесено в додатки. Достовірність прикладних результатів підкріплено імітаційним моделюванням та актами впровадження наукових результатів дисертації в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України та в початковий процес ДУІКТ.

Запропоновані метод, модель і архітектура придатні до використання при проектуванні високонавантажених систем, а також у науково-дослідній практиці.

Дослідження виконувалося в межах науково-дослідної роботи «Підвищення ефективності процесу управління 3D принтером з використанням методів машинного навчання» (державний реєстраційний номер 0124U001849) кафедри технологій цифрового розвитку Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

5. Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

Дисертацію Колодюка А.В. слід кваліфікувати як завершену наукову працю. Її викладено українською мовою в науковому стилі; чітко й послідовно визначено мету та задачі, об'єкт і предмет, сформульовано актуальність та наукову новизну. Залучені джерела відповідають тематиці дослідження й оформлені згідно з чинними рекомендаціями. Робота за змістом і оформленням відповідає вимогам, які висуваються до дисертацій за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», та є завершеним науковим дослідженням.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Під час виконання роботи автор дотримувався принципів академічної доброчесності. Перевірка тексту засвідчила коректність посилань на першоджерела щодо текстових та ілюстративних запозичень, що дозволяє констатувати відсутність ознак академічного плагіату. Наукові положення, методичні й прикладні розробки та висновки отримано здобувачем особисто, а отже, робота є самостійним завершеним науковим дослідженням. Наукові положення, методичні, прикладні розробки, висновки отримані особисто здобувачем.

7. Дискусійні положення та зауваження

Високо оцінюючи роботу в цілому, вважаємо за потрібне висловити такі дискусійні зауваження.

1. У другому розділі під час опису механізму буферизації позачергових подій недостатньо розкрито поведінку методу за тривалої відсутності наступних подій ключа. Бажано було б навести політику обмеження розміру буфера та керування пам'яттю, що убезпечує від її неконтрольованого зростання в експлуатації.

2. У третьому розділі аналітична модель оперує низкою параметрів (коефіцієнти накладних витрат, варіація часу обробки, нерівномірність навантаження). Заслужувала б на докладніше висвітлення методика їх емпіричного визначення та калібрування для конкретних промислових систем.

3. У четвертому розділі експеримент проведено засобами імітаційного моделювання у віртуальному часі. Корисним був би коментар щодо перспектив підтвердження результатів на реальному стенді (з брокером RabbitMQ та резервним HTTP-каналом), а також щодо чутливості оцінок часу відновлення до налаштувань протоколу heartbeat.

Наведені зауваження мають дискусійний характер і не впливають на загалом позитивну оцінку роботи.

8. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Ознайомлення з текстом дисертації, її анотацією та публікаціями за темою дослідження дає підстави зробити висновок, що робота Колодюка Андрія Васильовича «Метод упорядкованої паралельної доставки подій для підвищення стабільності й масштабованості мікросервісних систем на основі технологій асинхронного обміну повідомленнями та аналітичного моделювання» є цілісним, самостійно виконаним кваліфікаційним дослідженням. У роботі наведено науково обґрунтовані результати щодо методу упорядкованого паралелізму, аналітичної моделі продуктивності та архітектури безперервної доставки, які у сукупності забезпечують впорядкованість, ідемпотентність і безперервність обробки подій за умов часткових відмов інфраструктури.

Запропоновані рішення, висновки та рекомендації є достовірними й обґрунтованими, що підтверджується коректним застосуванням математичного апарату та результатами обчислювального експерименту. Опубліковані праці повною мірою відображають зміст роботи, її наукову новизну та практичну значущість.

Мета та завдання, поставлені у дисертаційній роботі в цілому досягнуті та вирішені. За змістом, оформленням, актуальністю, обґрунтованістю вирішення наукових проблем, рівнем наукової новизни, теоретичним та практичним значенням одержаних результатів представлена дисертаційна робота «Метод упорядкованої паралельної доставки подій для підвищення стабільності й масштабованості мікросервісних систем на основі технологій асинхронного обміну повідомленнями та аналітичного моделювання» повністю відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного

забезпечення», вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 р. за № 155/30023, та «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, а її автор Колодюк Андрій Васильович заслуговує на присудження ступеню доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,
доцент, доцент кафедри
інформаційної та кібернетичної
безпеки імені професора
Володимира Бурячка факультету
інформаційних технологій та
математики Київського
столичного університету імені
Бориса Грінченка

