ВІДГУК

офіційного опонента,
доктора технічних наук, професора Дички Івана Андрійовича,
декана факультету програмних систем та прикладної математики
Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», на дисертаційну роботу Мостового Сергія Володимировича «Метод та засоби прогнозування стану взаємоблокування процесів в комп'ютерних системах», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – Комп'ютерні системи та компоненти

1. Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок із науковими програмами, планами і темами

Організація конкурентного доступу до спільних апаратних і програмних ресурсів залишається одним із визначальних чинників надійності комп'ютерних систем, у яких процеси конкурентно використовують спільні ресурси. Збільшення кількості паралельно виконуваних задач, ускладнення міжпроцесної синхронізації та зростання інтенсивності операцій введення-виведення підвищують імовірність виникнення циклічного очікування. Взаємоблокування за таких умов спричиняють не лише затримки обчислень, а й вимушене переривання транзакцій, непродуктивне резервування ресурсів та погіршення доступності програмних сервісів.

Поширені підходи до боротьби із взаємоблокуваннями орієнтовано на наперед визначені правила розподілу ресурсів, аналіз безпечності стану або фіксацію вже сформованого циклу очікування. Вони мають важливе практичне значення, проте не завжди дозволяють використати відомості про поточну поведінку процесів для втручання до появи критичної ситуації. Тому завдання завчасного визначення ризику переходу процесів у стан взаємоблокування без істотного збільшення витрат на їх аналіз є актуальним для теорії та практики побудови комп'ютерних систем.

У дисертації запропоновано використовувати впорядковані сигнатури процесів, нечітку кластеризацію сигнатур процесів, автоматизоване формування бази нечітких правил та оцінювання ризику переходу процесів у стан взаємоблокування. Такий напрям логічно поєднує отримання системних даних про процеси й ресурси з прогнозуванням стану взаємоблокування та формуванням підстав для превентивного керування ресурсами. Дослідження виконано в межах наукової тематики Хмельницького національного університету, зокрема держбюджетної теми № 2Б-2008 та міжнародного проєкту «Кібербезпека критично важливої інфраструктури України».

Тематика і спрямування дисертації відповідають спеціальності 05.13.05 – Комп’ютерні системи та компоненти.

2. Наукова новизна отриманих результатів

З аналізу представленої дисертації випливає, що наукова новизна охоплює метод прогнозування, побудову сигнатури процесу, формування бази нечітких правил та архітектуру відповідних засобів. У рукописі ці результати сформульовано таким чином:

1) вперше розроблено метод прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп’ютерних системах, який, на відміну від відомих методів виявлення взаємоблокувань після їх виникнення або запобігання їм на основі наперед заданих обмежень розподілу ресурсів, забезпечує завчасне оцінювання ризику переходу процесів у стан взаємоблокування шляхом обробки сигнатур процесів базою нечітких правил, сформованою за результатами кластеризації, що дає змогу враховувати поточний ресурсний стан системи, особливості взаємодії процесів із ресурсами та формувати підстави для прийняття превентивних рішень щодо керування ресурсами комп’ютерної системи;

2) удосконалено метод побудови сигнатури процесу в комп’ютерних системах, який, на відміну від підходів, що описують процес через окремі системні параметри або поточний стан виконання, передбачає формалізоване перетворення ідентифікаційних, ресурсних, часових та поведінкових характеристик процесу у впорядкований вектор ознак із урахуванням зайнятих ресурсів, запитуваного ресурсу та особливостей ресурсної взаємодії, що дає змогу сформувати інформативний опис процесу для подальшої кластеризації, нечіткого аналізу та прогнозування стану взаємоблокування;

3) удосконалено метод побудови бази нечітких правил для прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп’ютерних системах, який, на відміну від відомих підходів формування правил на основі повного експертного налаштування, використовує нечітку кластеризацію Fuzzy C-Means для автоматизованого виділення типових сценаріїв ресурсної поведінки процесів з подальшим формуванням правил нечіткого логічного висновку, що дає змогу зменшити залежність від експертних оцінок, врахувати приховані закономірності у вибірці станів процесів та підвищити адаптивність бази правил до зміни поведінки процесів у комп’ютерній системі;

4) удосконалено архітектуру засобів прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп'ютерних системах, яка, на відміну від відомих підходів, орієнтованих переважно на виявлення або усунення взаємоблокування після його виникнення, передбачає поєднання модулів збору даних про процеси та ресурси, побудови сигнатур процесів, формування бази нечітких правил і прогнозування стану взаємоблокування, що забезпечує завчасне оцінювання ризику переходу процесів у стан взаємоблокування та створює основу для прийняття превентивних рішень щодо керування ресурсами комп'ютерної системи.

Із позицій проєктування комп'ютерних систем найбільш вагомим є взаємозв'язок методу оцінювання ризику із засобами спостереження та керування ресурсами комп'ютерної системи. Наведені положення утворюють узгоджену методичну й архітектурну основу завчасного реагування на стан взаємоблокування процесів.

3. Зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам

Рукопис має послідовну усталену структуру: анотацію, вступ, чотири розділи, загальні висновки, перелік використаних джерел і додатки. У вступі визначено об'єкт і предмет дослідження, мету, задачі, використані методи, особистий внесок автора та практичне значення та впровадження результатів. Сформульовані задачі охоплюють усі основні ланки дослідження – від аналізу існуючих алгоритмів до перевірки характеристик створеного програмного засобу.

Перший розділ присвячено систематизації умов виникнення взаємоблокувань, класифікації ресурсів і методів запобігання, уникнення, виявлення та усунення взаємоблокувань. Розглянуто запобігання, уникнення, виявлення, усунення та ігнорування взаємоблокувань; висвітлено можливості застосування машинного навчання. Порівняльний аналіз показує, які відомості про ресурсну поведінку процесів не використовуються традиційними засобами належним чином.

У другому розділі представлено архітектуру системи прогнозування стану взаємоблокування процесів, математичні моделі сигнатури процесу та стану комп'ютерної системи. Автор описує перетворення множини утримуваних ресурсів і запитуваного ресурсу в бінарний вектор сталої для заданої конфігурації розмірності, підготовку навчальних пар, кластеризацію й визначення ризику кластера. У роботі наведено обґрунтування евклідової відстані для роботи з бінарними сигнатурами та дійснозначними центрами кластерів.

Третій розділ містить послідовний виклад методів побудови сигнатур, автоматизованого створення бази правил і прогнозування стану взаємоблокування. Алгоритм обробки розпочинається подією ненадання запитуваного ресурсу. Після актуалізації сигнатури здійснюється оцінювання ризику, а для станів, що потребують реагування, визначається процес-кандидат для застосування превентивного керуючого впливу. Увагу приділено захисту системних процесів від необґрунтованого завершення.

Четвертий розділ демонструє практичне втілення запропонованих рішень і результати їх перевірки. В імітаційному середовищі, побудованому із застосуванням SimPy, зіставлено декілька відомих методів вирішення задачі взаємоблокування з методом прогнозування. Окремий експеримент проведено на реальній комп'ютерній системі із транзакційним доступом до записів бази даних. Поєднання імітаційного моделювання та експериментальної перевірки на реальній комп'ютерній системі дає змогу оцінити достовірність і своєчасність прогнозування стану взаємоблокування.

Узагальнення, наведені наприкінці розділів і у висновках, відображають логіку отримання результатів. Основні положення не виходять за межі фактично досліджених моделей, а автор окремо позначає обмеження щодо перенесення експериментальних характеристик на довготривалі виробничі навантаження.

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість запропонованого підходу забезпечується використанням загальновідомих механізмів розподілу ресурсів, формалізованих описів стану процесу, методів нечітких множин та відтворюваних експериментальних сценаріїв. У роботі подано математичні залежності для підготовки ознакового простору, визначення центрів кластерів, оцінювання їх ризику й прогнозування стану взаємоблокування. Теоретичні положення пов'язані з алгоритмічними рішеннями та програмною реалізацією.

Під час імітаційного моделювання розглянуто конфігурації з 30, 100 і 300 ресурсами та різною часткою процесів, що потрапляють у стан взаємоблокування. Згідно з поданими даними, у досліджених умовах успішно завершувалося 99,85–99,95 % процесів; значення Accuracy перебувало в межах 99,65–99,88 %, Recall становило 99,00 %, а F1-score – 98,80–98,84 %. Отримані числові оцінки свідчать про працездатність запропонованого методу прогнозування.

Випробування на реальній комп’ютерній системі для двох наборів по 10 000 процесів проводилися з десятикратним повторенням кожної досліджуваної конфігурації. Для цього випадку наведено Accuracy 99,65–99,82 %, а час випередження фактичного взаємоблокування становив у середньому 3,1–3,6 мс. У порівнянні з реагуванням на основі графа розподілу ресурсів середній час обробки зменшився на 8,6–8,8 %, пропускна здатність зросла на 9,4 %. Наведені результати підтверджують практичну придатність запропонованого методу та засобів прогнозування стану взаємоблокування.

5. Практичне значення результатів дисертаційної роботи

Прикладна цінність дисертації визначається можливістю застосування розробленого програмного засобу для отримання системних подій, формування сигнатур процесів, оцінювання ризику переходу процесів у стан взаємоблокування та формування підстав для превентивного керування ресурсами. Програмний засіб використовує дані про поточні сигнатури процесів для завчасного оцінювання ризику виникнення взаємоблокування до фактичного формування такого стану.

Практичну спрямованість засвідчено документами про використання результатів у ПП «Авіві», ТОВ «ІТТ» та освітньому процесі Хмельницького національного університету. Наведені програмні алгоритми й матеріали додатків створюють підґрунтя для подальшого розвитку засобів прогнозування стану взаємоблокування процесів у комп’ютерних системах.

6. Повнота викладення основних результатів у наукових публікаціях

Здобувачем опубліковано п’ять наукових статей у фахових наукових журналах України та в міжнародному науковому журналі, що індексується у Scopus. Така кількість відповідає нормативним вимогам. Апробацію результатів засвідчують чотири праці в матеріалах міжнародних конференцій, одна з яких проіндексована у Scopus. Тематика друкованих праць відповідає досліджуваній задачі. У вступі також конкретизовано особистий внесок здобувача в матеріали, підготовлені у співавторстві.

7. Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації

Виклад матеріалу є логічним, технічна термінологія загалом використовується послідовно. Рисунки й таблиці доповнюють формалізовані описи та відображають архітектуру програмних засобів, алгоритми і результати експериментального порівняння досліджуваних методів. Структура, обсяг і спрямування роботи відповідають рівню дисертаційного дослідження зі спеціальності 05.13.05. Окремі питання, наведені нижче, мають

уточнювальний характер і стосуються переважно меж застосування отриманих рішень.

8. Зауваження та дискусійні питання

1. У підрозділах 2.2 і 2.3 ресурсна частина сигнатури процесу формується відносно множини ресурсів поточної конфігурації комп'ютерної системи. Водночас недостатньо деталізовано порядок збереження відповідності компонентів сигнатури ідентифікаторам ресурсів у разі зміни їх складу. Уточнення цієї процедури дало б змогу чіткіше визначити умови повторного використання сформованих центрів кластерів.

2. Формалізоване подання ресурсної взаємодії процесу орієнтоване переважно на множину утримуваних ресурсів та поточний ресурсний запит. Потребує додаткового уточнення застосування запропонованої сигнатури для випадків одночасного очікування кількох ресурсів або складніших залежностей між потоками одного процесу. Це дозволило б точніше визначити межі застосування запропонованого подання.

3. У розділі 4 наведено часові характеристики прогнозування та значення випередження моменту виникнення взаємоблокування. Водночас окремо не деталізовано складові часових витрат на реєстрацію системної події, формування й обробку сигнатури та виконання сформованого керуючого впливу. Така деталізація дала б змогу повніше оцінити часові характеристики програмної реалізації.

4. У запропонованому методі для вибору процесу-кандидата на превентивне втручання використовується критерій мінімального часу перебування несистемного процесу в системі. У роботі не наведено порівняння цього критерію з альтернативними критеріями, що враховують, зокрема, обсяг уже виконаної роботи або потенційні витрати на відновлення процесу. Таке порівняння дозволило б додатково обґрунтувати вибір критерію.

5. Імітаційні експерименти проведено для різної кількості ресурсів і різної частки процесів, що переходять у стан взаємоблокування. Разом із тим окремо не досліджено вплив складності структури ресурсних залежностей, зокрема довжини циклів очікування та нерівномірності ресурсної активності процесів, на характеристики запропонованого методу. Аналіз таких сценаріїв дав би змогу повніше визначити межі його масштабування.

6. У роботі зазначено можливість пропуску окремих випадків взаємоблокування під час прогнозування, однак не деталізовано порядок взаємодії запропонованого методу з традиційними засобами виявлення вже сформованого взаємоблокування. Уточнення такої взаємодії дозволило б

чіткіше визначити варіанти практичного застосування розроблених засобів у комп'ютерних системах.

Висловлені зауваження мають дискусійний та рекомендаційний характер. Вони не ставлять під сумнів самостійність проведених досліджень, належне обґрунтування заявленої наукової новизни або придатність результатів до практичного використання.

9. Загальні висновки

Дисертаційна робота Мостового С.В. «Метод та засоби прогнозування стану взаємоблокування процесів в комп'ютерних системах» є завершеною науковою працею, виконаною здобувачем самостійно, відповідає пп. 2, 3 паспорту спеціальності 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти, та вимогам пп. 9, 11-12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 (зі змінами), а її автор, Мостовий Сергій Володимирович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
декан факультету програмних систем та прикладної математики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського» Іван ДИЧКА

« 11 » листопада 2026 р.

