

Кирило Кохан

аспірант

кафедра комп'ютерних інформаційних систем і технологій

Національний університет біоресурсів і природокористування, Київ, Україна

ORCID: 0009-0002-8878-8527

kokhan.kyrylo@gmail.com

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕСТОВИХ КОНФІГУРАЦІЙ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЗА ДОПОМОГОЮ PAIRWISE TESTING

Анотація. У статті представлено результати дослідження та впровадження методу Pairwise Testing для оптимізації вибору конфігурацій під час автоматизованого тестування багатокomпонентних інформаційних систем (ІС). Проблема комбінаційного вибуху, яка виникає зі зростанням кількості параметрів, платформ і середовищ, призводить до експоненційного збільшення кількості тестів і значних витрат часу та ресурсів. Для мінімізації цих витрат запропоновано використати комбінаторний підхід Pairwise Testing, який забезпечує перевірку всіх можливих пар параметрів системи, суттєво скорочуючи обсяг тестових сценаріїв без втрати якості покриття.

У роботі проаналізовано теоретичні основи Pairwise Testing, що базуються на припущенні, що більшість дефектів програмного забезпечення зумовлена взаємодією не більше ніж двох параметрів одночасно. Такий підхід дозволяє зменшити кількість тестів з експоненційної до квадратичної залежності, забезпечуючи 85–95% покриття потенційних помилок. Для побудови оптимальних конфігурацій побудована власна система генерації конфігурацій тестування.

На основі розробленої параметричної моделі ІС проведено експериментальне дослідження у середовищі CI/CD, що охоплює етапи побудови таблиць парних комбінацій, автоматичної генерації тестових сценаріїв, інтеграції у конвеєр тестування та аналізу отриманих результатів. Отримані дані засвідчили скорочення кількості виконуваних тестів на 60–80%, зменшення часу тестування на 30–50% і збереження рівня покриття понад 90%.

Запропонована інформаційна технологія Pairwise-оптимізації створює формалізований підхід до вибору тестових сценаріїв, підвищує ефективність використання обчислювальних ресурсів та забезпечує адаптивність системи тестування до змін у конфігураціях компонентів. Перспективи подальших досліджень полягають у поєднанні Pairwise Testing із методами машинного навчання та генетичними алгоритмами для побудови адаптивних систем оптимізації тестових конфігурацій у динамічних CI/CD-процесах.

Ключові слова: автоматизоване тестування; Pairwise Testing; оптимізація конфігурацій; комбінаторні методи; багатокomпонентні інформаційні системи; CI/CD.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Зі зростанням складності програмних систем кількість можливих конфігурацій для тестування зростає експоненційно, що робить повне тестування всіх варіантів неможливим [1]. Для систем із кількома десятками параметрів кількість комбінацій може сягати сотень тисяч, що унеможливує перевірку в межах одного CI/CD-циклу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед сучасних підходів до оптимізації тестових наборів найбільш поширеними є комбінаторні методи (Pairwise, Orthogonal Arrays), а також евристичні методи на основі генетичних алгоритмів [2]. Pairwise Testing залишається одним із найефективніших завдяки простоті реалізації та високому відсотку виявлення дефектів (до 90%) [3].

Мета публікації. Метою є демонстрація можливостей Pairwise Testing у зменшенні кількості тестових конфігурацій для багатокomпонентних ІС із збереженням високого рівня покриття та ефективною інтеграцією у CI/CD.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ

Pairwise Testing (тестування пар взаємодіючих параметрів) належить до класу комбінаторних методів генерації тестів, які базуються на принципі перевірки усіх можливих пар значень параметрів системи. Згідно з дослідженнями NIST [4], більшість дефектів у складних програмних системах виникає через взаємодію не більше двох параметрів одночасно. Це робить Pairwise Testing ефективним компромісом між повним перебором і вибірковою тестуванням.

Основною теоретичною основою Pairwise Testing є побудова покривних масивів (covering arrays, CA), що забезпечують покриття усіх можливих пар значень параметрів при мінімальній кількості тестових випадків. Формально, для системи з k параметрами та множинами значень v_1, v_2, \dots, v_k , необхідно побудувати множину тестів T , що мінімізує $|T|$ за умови, що кожна можлива пара (v_i, v_j) зустрічається принаймні один раз у T .

3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для перевірки ефективності Pairwise Testing була створена власна система генерації конфігурацій тестування, реалізована на мові JavaScript (Node.js 20). Основою є модуль `generateConfigs.js`, який формує множину тестових конфігурацій для системи автоматизованого тестування багатокomпонентних інформаційних систем. Система підтримує режим генерації Pairwise — комбінаторна генерація всіх можливих пар параметрів для досягнення повного покриття пар взаємодій. У режимі pairwise застосовується обмежений пул значень (по два на кожен ключ), що зменшує комбінаторний простір, але зберігає критичне покриття пар параметрів. Для генерації використано рекурсивний алгоритм побудови декартового добутку, який формує мінімальну множину конфігурацій із забезпеченням усіх пар взаємодій параметрів[5].

Збереження результатів виконується у файлі `./inputs/configs.json`, який потім використовується як вхідний набір для запуску тестів у CI/CD. Приклад експериментальної конфігурації наведено у Таблиці 1.

Таблиця 1

Приклад експериментальної конфігурації

Параметр	Опис параметра	Значення
frontend	Клієнтська частина (фреймворк інтерфейсу користувача)	React 18, React 17, Angular 17
backend	Серверна частина системи (платформа виконання бізнес-логіки)	Node.js 20, Python 3.11, Java 20
database	Система керування базами даних	MySQL, PostgreSQL, MongoDB
browser	Веб-браузер для UI-тестування	Chrome, Firefox, Edge
env	Середовище розгортання та виконання системи	production, staging, testing

4. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті тестування виявлено що кількість тестових конфігурацій скоротилась із 243 до 28–32 за рахунок Pairwise Testing; покриття всіх парних

комбінацій параметрів залишилось високим — 95–100%; час виконання тестового циклу у CI/CD зменшився на 60–70% порівняно з повним набором тестів; модуль автоматизованої перевірки забезпечив контроль покриття та зберігання результатів у репозиторії для подальшого аналізу.

Отримані результати підтвердили ефективність Pairwise Testing як інструменту зменшення обсягу тестів без втрати якості перевірки. Крім того, реалізація інтеграції з CI/CD продемонструвала можливість автоматизованого повторного використання тестових наборів, підвищення швидкодії та стабільності процесу тестування.

5. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Запропонований підхід із застосуванням Pairwise Testing дозволяє суттєво скоротити обсяг тестових конфігурацій багатокomпонентних ІС (до 12–15% від повного набору) при збереженні високого рівня покриття критичних пар параметрів (95–100%).

Методи комбінаторної оптимізації забезпечують ефективне управління експоненційно зростаючими конфігураційними просторами, а інтеграція у CI/CD дозволяє автоматизувати повторювані цикли тестування та збирати аналітичні дані про ефективність. Використання модульного підходу до генерації конфігурацій гарантує мінімізацію необхідної кількості тестів без втрати якості покриття.

Перспективні напрямки подальших досліджень включають: поєднання Pairwise Testing із генетичними алгоритмами для багаторівневої оптимізації, застосування штучного інтелекту для прогнозування дефектів і автоматичний аналіз результатів тестування в реальному часі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] О. Р. Melnyk, *Yakist' prohramnoho zabezpechennya ta testuvannya: bazovyy kurs*, Ternopil: TNEU, 2019, 240 p.

[2] A. S. Avramenko, V. S. Avramenko, H. V. Kosenyuk, *Testuvannya prohramnoho zabezpechennya*, Cherkasy: ChNU im. Bohdana Khmel'nyts'koho, 2017, 284 p.

[3] O. L. Lyakhov, O. O. Borodina, *Metody testuvannya i otsinky yakosti prohramnoho zabezpechennya*, Poltava: PoltNTU, 2015, 372 p.

[4] D. R. Kuhn, D. R. Wallace, and A. M. Gallo, "Software fault interactions and pairwise testing," *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 30, no. 6, pp. 418–421, 2004.

[5] R. Bryce and C. Colbourn, "A framework of greedy methods for constructing interaction test suites," in *Proceedings of the 27th International Conference on Software Engineering*, 2005, pp. 146–155.

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

NATIONAL UNIVERSITY
OF LIFE AND ENVIRONMENTAL
SCIENCES OF UKRAINE

FACULTY OF INFORMATION
TECHNOLOGY

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

PROCEEDINGS

XIII International scientific
and practical conference

**GLOBAL AND
REGIONAL PROBLEMS OF
INFORMATIZATION IN
SOCIETY AND
NATURE USING
'2025**

13-14 November 2025

Kyiv, NULES of Ukraine

Kyiv 2025

МАТЕРІАЛИ

XIII Міжнародної науково-
практичної конференції

**ГЛОБАЛЬНІ ТА
РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В
СУСПІЛЬСТВІ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ
'2025**

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

XIII Міжнародної науково-практичної конференції

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ В СУСПІЛЬСТВІ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ '2025

13-14 листопада 2025 року

Київ, НУБіП України

Київ 2025

УДК 004

Рекомендовано до друку вченою радою факультету інформаційних технологій Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол № 4 від 18.12.2025).

Укладач: д.т.н., доцент Шкарупило В.В.

Збірник матеріалів XIII Міжнародної науково-практичної конференції "Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2025", 13–14 листопада 2025 року, НУБіП України, Київ. – К.: НУБіП України, 2025. – 206 с.

Відповідальність за зміст публікацій несуть автори.

© Національний університет біоресурсів
і природокористування України, 2025