

В. І. Панченко

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ УЗАГАЛЬНЕНОГО МЕТОДУ СИНТЕЗУ ТЕСТІВ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ШЛЮЗУ ПЕРИФЕРІЙНОГО ШАРУ ВИСОКОЩІЛЬНОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

Анотація. Актуальність. Сучасний розвиток високощільного Інтернету речей (HDIoT) характеризується експоненційним зростанням кількості підключених пристроїв та ускладненням архітектури граничних шлюзів. В умовах гетерогенності протоколів, динамічної зміни топології мережі та обмежених обчислювальних ресурсів традиційні методи діагностики, орієнтовані на статичні структурні моделі, втрачають ефективність. Це зумовлює необхідність розробки нових адаптивних методів синтезу тестів, здатних оперувати у просторах станів великої розмірності та забезпечувати надійність функціонування критичної інфраструктури HDIoT. **Об'єкт дослідження:** процеси діагностики та синтезу тестових наборів для компонентів інтелектуальних шлюзів високощільного Інтернету речей. **Мета статті:** розробка та експериментальне дослідження узагальненого методу синтезу тестів на основі еволюційно-генетичних алгоритмів для забезпечення максимального покриття несправностей при мінімізації часових витрат. **Результати дослідження.** Запропоновано метод синтезу тестів, що дозволяє динамічно змінювати стратегію пошуку залежно від поточної ефективності діагностичного процесу. Розроблено імітаційну модель та проведено експериментальне дослідження. **Висновки.** Розроблено узагальнений адаптивний метод синтезу тестів для діагностики інтелектуального шлюзу периферійного шару, що базується на дворівневій архітектурі «Планувальник–Диспетчер» та математичних моделях генетичних операторів з урахуванням структурної складності об'єкта. Експериментально підтверджено скорочення часу синтезу на 8-15% при забезпеченні покриття 95-98%. Сфера використання отриманих результатів: розробка систем автоматизованої діагностики та вбудованого самотестування для граничних вузлів та шлюзів у промислових та корпоративних мережах IoT.

Ключові слова: автоматизована система генерації тестових наборів; високощільний Інтернет речей; генетичні алгоритми; інтелектуальний шлюз; синтез тестів; тестова діагностика.

Вступ

Постановка проблеми. Стрімка еволюція екосистем Інтернету речей призвела до появи концепції високощільного IoT (High-Density IoT, HDIoT), де щільність пристроїв може сягати тисяч одиниць на квадратний кілометр [1]. У таких мережах інтелектуальний шлюз граничного шару (Intelligent Edge Layer Gateways, IELG) виступає критичним вузлом, що забезпечує агрегацію даних, трансляцію протоколів та виконання локальної аналітики (Edge AI). Складність архітектури IELG [2], яка поєднує різноманітні обчислювальні ядра, спеціалізовані прискорювачі та гетерогенні інтерфейси, створює суттєві виклики для систем технічної діагностики.

Класичні методи генерації тестів (Automatic test pattern generation, ATPG), розроблені для детермінованих цифрових схем, виявляються неефективними для IELG через проблему «вибуху станів» та неможливість адекватного моделювання динамічних процесів у мережевих стеках. Стохастичні методи, зокрема генетичні алгоритми, демонструють кращі результати, проте їхня «сліпа» природа часто призводить до надмірних витрат часу на генерацію тестів, що є неприпустимим в умовах реального часу. Актуальною науковою задачею є створення узагальненого методу, який би поєднував переваги різних підходів та адаптувався до специфіки об'єкта діагностування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням діагностики складних цифрових систем присвячено значну кількість робіт. Фундаментальні підходи, такі як D-алгоритм, PODEM та FAN, та їх сучасні модифікації забезпечують гарантоване виявлення несправностей для комбінаційних схем, але їх

обчислювальна складність зростає за кубічним законом від кількості елементів [3, 4]. Еволюційні методи на базі генетичних алгоритмів [5] дозволяють вирішувати задачі синтезу для послідовнісних схем, розглядаючи процес як задачу оптимізації. Однак, існуючі реалізації [6] часто використовують фіксовані параметри генетичних операторів, що не дозволяє враховувати зміну характеру пошуку на різних етапах синтезу. Відсутність механізмів адаптації призводить до стагнації популяції та зниження ефективності тестування складних вузлів IELG.

Фундаментальна робота [7] класифікує методи тестування, виділяючи гетерогенність протоколів як головний бар'єр. Автори стверджують, що існуючі фреймворки не забезпечують кросрівневого покриття, що підтверджує актуальність розробки узагальнених математичних моделей. Огляд [8] вказує на брак інструментів, здатних динамічно адаптуватися до зміни топології мережі. Дослідження [9] деталізує роль туманного шару, підкреслюючи, що шлюз повинен обробляти дані «на краю» для зменшення латентності. Це висуває вимогу до тестів перевіряти не лише логічну коректність, а й часові параметри виконання.

Робота [10] описує перехід до інтелектуальних екосистем, що вимагає зміни парадигми тестування зі структурної (перевірка з'єднань) на поведінкову (перевірка сценаріїв). У дослідженні [11] розроблено методи моніторингу стану сенсорів й викликаних відмов, з фокусом на практичні сценарії експлуатації промислового IoT (Industrial IoT, IIoT) та висвітлені проблеми автоматичного розпізнавання типів відмов. Дослідження [12] зосереджене на виявленні та класифікації відмов у IIoT-середовищах за умов неповних

(відсутніх) даних сенсорів. Було виявлено головну проблему – у реальних IoT-мережах присутні часті пропуски даних через збої зв'язку чи сенсорні помилки, що ускладнюють діагностику.

Метою роботи є розробка та дослідження узагальненого методу синтезу тестів, який використовує дворівневу модель управління для динамічного вибору стратегії пошуку, що забезпечує підвищення повноти покриття несправностей та скорочення часу діагностики.

Основний матеріал

Для подолання обмежень окремих алгоритмів пропонується узагальнений (комплексний) метод синтезу тестів, який базується на ідеї динамічної реконфігурації обчислювального процесу. Метод розглядається як система, що складається з набору базових алгоритмів («будівельних блоків») та надбудови управління.

Структурно узагальнений метод реалізується через взаємодію двох ключових компонентів: «планувальника» та «диспетчера».

«Планувальник» – інтелектуальний модуль, що відповідає за стратегічне управління процесом синтезу. Його функції включають: аналіз поточного стану процесу (повнота покриття C , час виконання T , швидкість виявлення нових несправностей C/T ; перевірку умов завершення синтезу; прийняття рішення про вибір або зміну методу синтезу (будівельного блоку) для наступної ітерації.

«Диспетчер» – виконавчий модуль, що забезпечує інтерфейс між «планувальником» та конкретними алгоритмами. Він виконує ініціалізацію та налаштування параметрів обраного методу; передачу контексту (поточної популяції тестів, списку виявлених несправностей) між алгоритмами та запуск виконання методу.

Формально процес описується в термінах теорії універсальних алгебр [13]: алгебра A_1 описує генерацію окремих тестових наборів (хромосом), а алгебра A_2 – еволюцію популяції тестів. Планувальник реалізує відображення множини станів процесу на множину доступних алгоритмів.

Алгебра генерації індивідуумів визначається як $A_1(M_1, D_1)$, де $M_1 = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$ – множина всіх допустимих тестових наборів (хромосом). Кожен елемент $m_i \in M_1$ являє собою вектор вхідних впливів, що подаються на інтерфейси шлюзу (наприклад, бінарні послідовності, пакети протоколів, аналогові сигнали). Важливою умовою є приналежність кожного згенерованого набору до області допустимих значень, що наближає тестову діагностику до функціональної. $D_1 = \{d_1^{k_1}, d_2^{k_2}, \dots, d_n^{k_n}\}$ – сигнатура операцій;

k_i – арності над хромосомами: d^0 – генерування випадкового тестового набору (ініціалізація); d^1 – мутація, зміна одного або кількох генів у хромосомі

(наприклад, інверсія біта, зміна поля заголовка пакету); d^2 – кросовер (схрещування) — обмін ділянками генетичного коду між двома батьківськими особинами для створення нащадків; d^n – складні види рекомбінації, характерні для еволюційних стратегій.

Алгебра еволюції популяцій визначається як $A_2(M_2, D_2)$, де $M_1 = \{P_1, P_2, \dots\}$ – множина популяцій, де кожна популяція P_i є підмножиною M_1 ; D_2 – сигнатура операцій над популяціями. Сюди входять оператори селекції (вибір батьківських пар), редукції (відсів найменш пристосованих особин), елітаризму (збереження кращих рішень).

Головною особливістю даної моделі є встановлення гомоморфізму між алгебрами класичних генетичних і множиною еволюційних алгоритмів та алгебрами синтезу тестів. Наявність такого гомоморфізму математично гарантує, що властивості збіжності та адаптивності, доведені для алгоритмів моделювання розвитку популяцій, будуть справедливими і для задачі синтезу тестів IELG.

Ефективність методу залежить від алгоритму перемикання стратегій. Пропонується формалізувати чотири основні підходи до роботи «планувальника»:

Стратегія 1: вибір за результатами конкуренції. Процес поділяється на етап розвідки та етап експлуатації. Спочатку всі доступні методи запускаються паралельно (або в режимі розділення часу) на короткий проміжок. Метод, що продемонстрував найкращу динаміку покриття, обирається як основний для подальшого синтезу.

Стратегія 2: вибір за апріорними ознаками. Метод обирається на основі структурних характеристик об'єкта діагностування (кількість входів, глибина схеми, наявність зворотних зв'язків). Наприклад, для схем з великою кількістю входів ($N_{in} > 1000$) пріоритет надається генетичним алгоритмам з високою мутацією.

Стратегія 3: імовірнісний адаптивний відбір. Кожному методу присвоюється ймовірність вибору p_i . Якщо застосування методу i призвело до покращення результату, p_i збільшується, інакше – зменшується. Це реалізує механізм навчання з підкріпленням.

Стратегія 4: випадковий вибір з моніторингом ефективності. Методи обираються випадково, але працюють до моменту падіння їх ефективності нижче порогового значення. Ця стратегія виявилася найбільш стійкою до локальних оптимумів, дозволяючи «виштовхувати» процес пошуку з зон стагнації.

Для підвищення ефективності пошуку в просторі станів IELG розроблено спеціалізовані оператори та метрики.

Фітнес-функція. Запропоновано мультиплікативну модель оцінки пристосованості особини $\mu(a_i^t)$, яка враховує не лише факт покриття несправностей, а й новизну внеску в загальний результат:

$$\mu(a_i^t) = k_N \cdot k_P \cdot k_C,$$

де $k_N = 1 + (N_{ij} - N_j) / N_p$ – коефіцієнт новизни, що стимулює виявлення унікальних несправностей; N_{ij} – кількість несправностей, виявлених сукупністю тестів разом з поточним; N_j – кількість несправностей, виявлених раніше; N_p – загальна кількість можливих несправностей; $k_P = 1 + t / T_m$ – коефіцієнт еволюційного тиску для компенсації зниження темпів пошуку на пізніх етапах; t – номер поточного покоління; T_m – максимальна кількість поколінь; $k_C = N_i / N_p \cdot 100$ – індивідуальна ефективність; N_i – кількість несправностей, виявлених даним набором ізольовано.

Зростання коефіцієнта k_P з часом дозволяє підтримувати високі значення фітнес-функції навіть для тестів з незначним приростом покриття, запобігаючи передчасній зупинці алгоритму.

Адаптивна ймовірність мутації d^1 . Для уникнення руйнування корисних схем на пізніх етапах синтезу запропоновано формулу, що зв'яже ймовірність мутації p_m зі складністю вхідного каскаду шлюзу L_{first} та поточним $\mu(a_i^t)$ і максимально досяжним значенням μ_{max} пристосованості в поточній популяції:

$$p_m(\mu(a_i^t)) = \frac{1}{N_{in} \sqrt{1 + L_{first} / N_{in}}} \cdot \exp\left(-\frac{\mu(a_i^t)}{\mu_{max}}\right).$$

Такий підхід забезпечує високу варіативність на початку пошуку та стабілізацію рішень при наближенні до оптимуму (рис. 1).

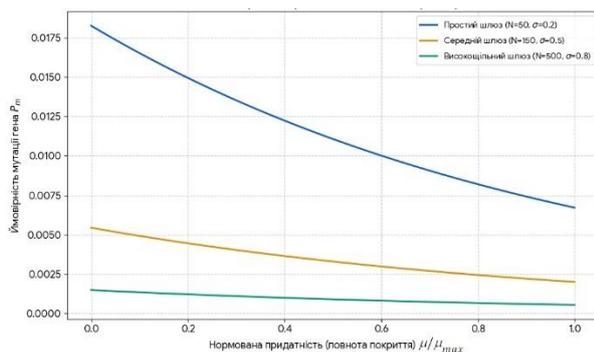


Рис. 1. Залежність ймовірності мутації від ступеню пристосованості

Оператор кросовера d^2 або його можливий варіант d^n ($n > 2$) проводиться над двома чи більшою кількістю хромосом. При цьому хромосоми особин («батьки») не змінюються, а в результаті застосування відбувається створення нової хромосоми – «нащадка», яка додається в популяцію.

У розробці систем тестування шлюзів особлива увага приділяється оператору суміщеного кросовера,

який запобігає стагнації пошуку. Його застосування є критичним при малій чисельності популяції або її високій однорідності, коли зростання середньої пристосованості $\mu_{сер}(t)$ сповільнюється.

Для досягнення максимальної повноти тестування при обмеженому часі використовується «м'яка» схема природного відбору, яка забезпечує спадковість кращих тестових наборів. Репродукційна група включає як батьків, так і нащадків, що гарантує виконання фундаментальної теореми Фішера – середня пристосованість популяції (якість тесту) з кожним поколінням лише зростає.

Для верифікації теоретичних моделей було реалізовано програмний комплекс імітаційного моделювання, побудований на принципах об'єктно-орієнтованого програмування, що містить:

1. Клас «схема» – програмне відображення компонента інтелектуального шлюзу. Він містить повну інформацію про топологію схеми, типи елементів, наявність зворотних зв'язків та елементів пам'яті. Внутрішнє представлення схеми базується на орієнтованому графі, де вершини відповідають логічним компонентам, а дуги – лініям зв'язку.

2. Клас «тестовий набір» – елементарна одиниця діагностичної інформації – вхідний вектор, що подається на входи IELG.

3. Клас «хромосома» – «особина» в популяції. Хромосома містить послідовність тестових наборів (генотип), а також метадані, необхідні для роботи еволюційного алгоритму: значення фітнес-функції, оцінку повноти покриття, довжину тесту та історію походження.

4. Клас «популяція» – моделює сукупність рішень-кандидатів на поточному етапі еволюції, відповідає за зберігання масиву хромосом, обчислення інтегральних характеристик покоління (середня, максимальна та мінімальна пристосованість) та реалізацію механізмів селекції.

5. Клас «алгоритм» – керуючий клас, який реалізує логіку еволюційного пошуку, містить набір методів, що відповідають генетичним операторам: схрещування, мутації, селекції та редукції. Архітектура класу дозволяє динамічно змінювати стратегії пошуку, перемикаючись між різними модифікаціями алгоритмів (класичний ГА, еволюційні стратегії, метод комбінування евристик) у процесі виконання, що є реалізацією концепції «Планувальника» та «Диспетчера».

Результати досліджень

Для кількісної оцінки ефективності запропонованого методу було проведено комплексне експериментальне дослідження з використанням розробленої імітаційної моделі.

Методологія дослідження базувалася на теорії планування активного експерименту. Було обрано план повного факторного експерименту, як фактори впливу розглядалися: об'єм пристрою (кількість елементів, з точністю до яких виконується побудова тесту), довжина тесту (розмір популяції), ймовірність мутації та інтенсивність кросовера.

Функцією відгуку виступав час синтезу тесту до досягнення заданого рівня повноти покриття (95%). Статистична обробка отриманих даних дозволила побудувати поліноміальні регресійні моделі, що описують залежність часу синтезу від досліджуваних факторів та їх взаємодій. Аналіз коефіцієнтів регресії виявив домінуючий вплив фактора складності пристрою, який лінійно збільшує час синтезу. Водночас, було встановлено, що збільшення розміру популяції тестів має зворотний вплив на час виконання, тобто сприяє прискоренню процесу. Було виявлено ефект взаємодії між складністю пристрою та розміром популяції: позитивний ефект від збільшення популяції суттєво посилюється саме для складних об'єктів діагностування. Порівняльний аналіз ефективності різних методів показав (рис. 2), що запропонований комплексний підхід, особливо в режимі адаптивного перемикавання стратегій, забезпечує найкращі показники швидкодії.

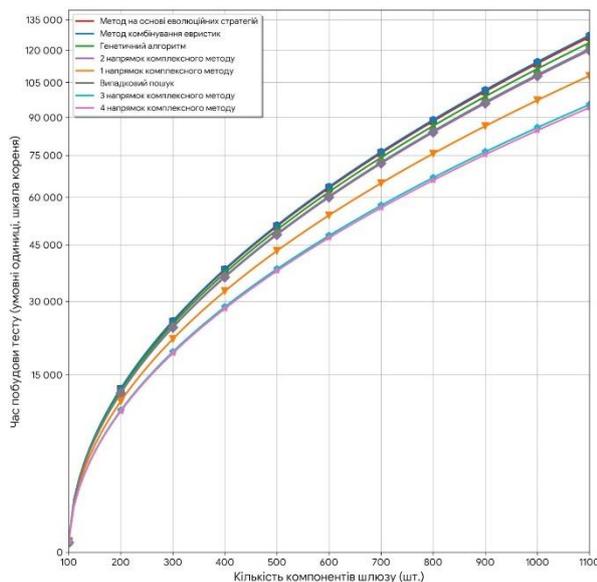


Рис. 2. Залежність часу побудови тесту від кількості компонентів шлюзу

У найбільш складних сценаріях, що характеризуються великою розмірністю схеми та обмеженнями на довжину тесту, розроблений метод дозволив скоротити час синтезу на 8-15% порівняно з класичним генетичним алгоритмом. При цьому метод випадкового пошуку в аналогічних умовах виявився нездатним досягти необхідного рівня покриття, що підтверджує його непридатність для діагностики сучасних інтелектуальних шлюзів. Важливим аспектом ефективності є не лише кінцевий час побудови тесту, але й динаміка досягнення результату, що наведена на рис. 3.

Метод випадкового пошуку характеризується швидким стартом (легкі несправності виявляються миттєво), але дуже швидким виходом на насичення («ефект плато») на рівні 60-70%. Подальший приріст покриття вимагає експоненційного збільшення кількості спроб, оскільки ймовірність випадкової генерації тестів для важкодоступних несправностей є вкрай низькою. Комплексний метод демонструє більш рівномірне зростання. Завдяки механізмам адаптивної мутації та спрямованого кросовера, алгоритм здатен

долати локальні плато. Особливо це помітно на заключних етапах пошуку (покриття > 90%), де комплексний метод продовжує стабільно генерувати нові ефективні вектори, в той час як класичні методи стагнують. Це робить комплексний метод ефективним інструментом для досягнення високих рівнів надійності, необхідних для критичних вузлів IELG.

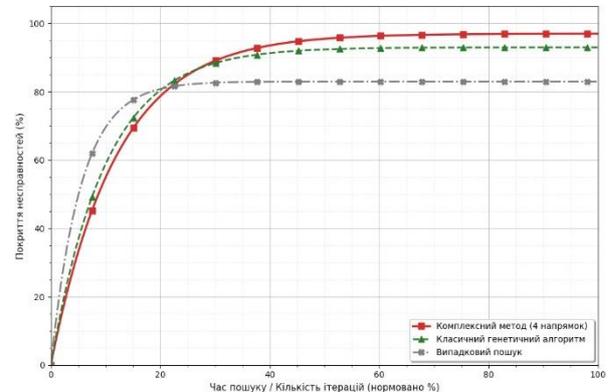


Рис. 3. Усереднена залежність повноти тесту від кількості згенерованих вхідних наборів

Висновки

Розроблено узагальнений метод синтезу тестів для діагностики IELG, який завдяки дворівневій архітектурі управління («Планувальник»-«Диспетчер») забезпечує адаптацію стратегії пошуку до поточних умов діагностики.

Запропоновано математичні моделі адаптивних генетичних операторів, які враховують структурну складність об'єкта діагностування, що дозволяє уникнути стагнації пошукового процесу.

Експериментально доведено, що використання узагальненого методу дозволяє скоротити час синтезу тестів для пристроїв великої складності на 8-15% порівняно з класичними підходами, гарантуючи при цьому повноту покриття на рівні 95-98%.

Встановлено, що збільшення розміру популяції в рамках еволюційного методу сприяє загальному прискоренню процесу синтезу, що спростовує необхідність жорсткої економії пам'яті на етапі генерації тестів. Перспективи подальших досліджень вбачаються в таких напрямках:

- інтеграція розроблених методів з технологією цифрових двійників для предиктивної діагностики шлюзів до їх фізичного розгортання;
- розробка спеціалізованих тестів для виявлення дрейфу моделей машинного навчання та змагальних атак на рівні шлюзу;
- оптимізація тестових процедур за критерієм енергоефективності для подовження часу життя автономних вузлів IoT;
- адаптація методів для тестування смарт-контролів та механізмів консенсусу в децентралізованих мережах.

Використання засобів штучного інтелекту

Автор підтверджує, що не використовував технології штучного інтелекту при створенні представленої роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Jain, S., Sukul, P., Groppe, J., Warnke, B., Harde, P., Jangid, R., Rehan, W., Cotrado, Y., Fischer, S., & Groppe, S. (2025). A scientometric analysis of reviews on the Internet of Things. *The Journal of Supercomputing*, 81(6), 757. <https://doi.org/10.1007/s11227-025-07230-w>
2. Abdelwahed, S. H., Hefny, I. M., Hegazy, M., Said, L. A., & Soltan, A. (2025). Survey of IoT multi-protocol gateways: Architectures, protocols and cybersecurity. *Internet of Things*, 33, 101703. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101703>
3. Li, W., Wang, T., & Li, H. (2023). An Automatic Test Pattern Generation Method for Digital Circuits Based on K-Nearest Neighbor. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 35(11), 1802-1810. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1089.2023.20030>
4. Dhare, V., & Mehta, U. (2024). Test generation algorithm for QCA circuits targeting novel defects and its corresponding fault models. *Microprocessors and Microsystems*, 110, 105090. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2024.105090>
5. Cebeci, C., & Timur, O. (2025). Deterministic Parameter Control Methods for Genetic Algorithms: Benchmarking on Test Functions and Boost Converter Design Optimisation. *Applied Sciences*, 15(20), 11093. <https://doi.org/10.3390/app152011093>
6. Rajagopal, M., Sivasakthivel, R., Loganathan, K., & Sarris, L. E. (2023). An Automated Path-Focused Test Case Generation with Dynamic Parameterization Using Adaptive Genetic Algorithm (AGA) for Structural Program Testing. *Information*, 14(3), 166. <https://doi.org/10.3390/info14030166>
7. Lima, B., & Pinto, R. (2025). Current Challenges and Future Perspectives in Testing IoT Systems: A Comprehensive Review. *IEEE Sensors Reviews*, 3, 22–47. <https://doi.org/10.1109/SR.2025.3628264>
8. Minani, J. B., Sabir, F., Moha, N., & Guéhéneuc, Y.-G. (2024). A Systematic Review of IoT Systems Testing: Objectives, Approaches, Tools, and Challenges. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 50(4), 785–815. <https://doi.org/10.1109/TSE.2024.3363611>
9. Bhatia, J., Italiya, K., Jadeja, K., Kumhar, M., Chauhan, U., Tanwar, S., Bhavsar, M., Sharma, R., Manea, D. L., Verdes, M., & Raboaca, M. S. (2022). An Overview of Fog Data Analytics for IoT Applications. *Sensors*, 23(1), 199. <https://doi.org/10.3390/s23010199>
10. Shehu Yalli, J., Hilmi Hasan, M., & Abubakar Badawi, A. (2024). Internet of Things (IoT): Origins, Embedded Technologies, Smart Applications, and Its Growth in the Last Decade. *IEEE Access*, 12, 91357–91382. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3418995>
11. Garcés-Jiménez, A., Rodrigues, A., Gómez-Pulido, J. M., Raposo, D., Gómez-Pulido, J. A., Silva, J. S., & Boavida, F. (2024). Industrial Internet of Things embedded devices fault detection and classification. A case study. *Internet of Things*, 25, 101042. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.101042>
12. Dzaferagic, M., Marchetti, N., & Macaluso, I. (2022). Fault Detection and Classification in Industrial IoT in Case of Missing Sensor Data. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(11), 8892–8900. <https://doi.org/10.1109/IIOT.2021.3116785>
13. He, Y., Sun, H., Wang, Y., Zhang, X., & Mirjalili, S. (2023). Set algebra—Based algebraic evolutionary algorithm for binary optimization problems. *Applied Soft Computing*, 143, 110425. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110425>

Received (Надійшла) 14.11.2025

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.01.2026

Publication date (Дата публікації) 27.02.2026

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Панченко Володимир Іванович – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Volodymyr Panchenko – Senior Lecturer of the Computer Engineering and Programming Department, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
 e-mail: Volodymyr.Panchenko@khp.edu.ua; ORCID Author ID: <https://orcid.org/0000-0003-3364-3398>;
 Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=58759071400>.

**Development and research of a generalized method for test synthesis
for intelligent high-density IoT edge-layer gateway diagnostics**

Volodymyr Panchenko

Abstract. Relevance. The modern development of high-density Internet of Things (HDIoT) systems is characterized by exponential growth in the number of connected devices and increasing architectural complexity of edge gateways. Under conditions of protocol heterogeneity, dynamic network topology changes, and limited computational resources, traditional diagnostic methods based on static structural models lose their effectiveness. This necessitates the development of new adaptive test synthesis methods capable of operating in high-dimensional state spaces and ensuring reliable operation of critical HDIoT infrastructure. **Object of research:** processes of diagnostics and test set synthesis for components of intelligent gateways in high-density IoT environments. **Purpose of the article:** to develop and experimentally investigate a generalized test synthesis method based on evolutionary-genetic algorithms to ensure maximum fault coverage while minimizing time costs. **Research results.** A test synthesis method is proposed that enables dynamic modification of the search strategy depending on the current efficiency of the diagnostic process. A simulation model was developed and an experimental study was conducted. **Conclusions.** A generalized adaptive method for test synthesis for diagnosing an intelligent edge-layer gateway has been developed, based on a two-level “Planner–Dispatcher” architecture and mathematical models of genetic operators that account for the structural complexity of the object. Experimental results confirm a reduction in synthesis time by 8-15% while ensuring 95-98% coverage. Application area: development of automated diagnostic systems and built-in self-test solutions for edge nodes and gateways in industrial and enterprise IoT networks.

Keywords: automatic test pattern generation; intelligent gateway; genetic algorithms; high-density IoT; test diagnostics; test synthesis.