

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.12>

УДК 167.7; 004.81

Аналіз, моніторинг и тестування комп'ютерних інформаційних систем

Мартинюк Олександр Миколайович¹⁾

Канд. техніч. наук, доцент, зав. каф. Комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1461-2000>; anmartynyuk@ukr.net. Scopus Author ID: 57103391900

Дрозд Олександр Валентинович¹⁾

Професор каф. Комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-2217>; drozd@ukr.net. Scopus Author ID: 57190428346

Буї Ван Тхiong¹⁾

Аспірант каф. Комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9160-5982>; govarava@gmail.com

Баськов Ілля Олександрович¹⁾

Ст. викладач каф. Інформаційних систем
E-mail: illyabaskov@ukr.net

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

Висока важливість й критичність працездатності та достовірності функціонування сучасних комп'ютерних інформаційних систем вимагають зусиль по їх забезпеченню, що не менші, ніж зусилля на розробку самих систем. Офлайнові та онлайнові моніторинг і тестування комп'ютерних інформаційних систем, які часто використовуються для забезпечення працездатності та достовірності функціонування, передбачають розробку й впровадження відповідних апаратно-програмних і інформаційних засобів у складі автоматизованих систем технічного діагностування. Рисами як самих комп'ютерних інформаційних систем, так і засобів моніторингу й тестування стають їх розподіл у мережі, автономність й одночасно кооперативність усіх їх компонентів. Таки риси з'являються вже у системно-функціональному представленні систем і накладають вимоги спеціального аналізу усіх їх властивостей та функцій, у тому випадку й енергетичних. Запропонована робота орієнтована на здійснення енерго-поведінкового моніторингу й тестування комп'ютерних інформаційних систем, визначає формальне представлення спеціального аналізу відповідних апаратно-програмних засобів і базується асинхронно-подієвих моделях розширених мереж Петрі й поведінкових експериментах. Таке представлення спирається на моделі енерго-поведінкової специфікації та тестування, паралельні, асоціативно-еволюційні методи моніторингу й тестування з накопиченням заготовок й результатів, які відрізняються особливими рисами. Запропоноване представлення дає можливість створювати нову системну енерго-поведінкову технологію моніторингу й тестування комп'ютерних інформаційних систем.

Ключові слова: комп'ютерні інформаційні системи; енерго-поведінковий моніторинг; енерго-поведінкове тестування; розширені мережі Петрі; енерго-поведінкові специфікації; асоціативно-еволюційні методи тестування

Актуальність. Стрімкий розвиток комп'ютерних інформаційних технологій (КІС) [1], їх проникнення в усі сфери діяльності людини, різке збільшення масштабів, складності та критичності застосування КІС [2] ставлять так само масштабні, складні та критичні завдання забезпечення достовірності їх функціонування [3]. Вирішення цих завдань пов'язане із застосуванням засобів апаратного, програмного, інформаційного моніторингу, контролю та тестування [4–6], що виконується як в онлайновому, так і в офлайновому режимах, що комплексуються у вбудованих та зовнішніх по відношенню до КІС засобах автоматизованих систем технічного діагностування (АСТД) [5].

Разом з тим, такі кошти значною мірою успадковують від КІС і розподіленість у мережі, і роздільність між процесами, і автономність виконання своїх функцій, і кооперативність у роботі підсистем АСТД, і ще багато інших особливостей [7]. Так, для масштабних, складних та критичних КІС засоби моніторингу, контролю та тестування також неминуче стають масштабними, складними та надкритичними. Як наслідок, їх побудова та аналіз також виконуються, починаючи з системно-функціонального рівня та закінчуючи логічним та кодовим (для програмно-інформаційних інструкцій та структур) рівнями. В результаті в

засобах моніторингу, контролю та тестування можуть поєднуватись перевірки різнорівневих властивостей та функцій КІС.

Однак, при поведінковому розгляді КІС структури їх подій та дій можуть бути поповнені також енергетичними подіями та діями. У цьому випадку можна говорити про енерго-поведінковий моніторинг, контроль та тестування [8]. Наочність, гнучкість і, водночас, потужність для специфікацій КІС та їх процесів, зокрема, моніторингу, контролю та тестування, мають моделі розширених мереж Петрі [9]. Асинхронно-подійна, паралельна природа мереж Петрі дозволяє пропонувати для них безліч методів аналізу, загального та спеціального, з різними перевагами та обмеженнями, критеріями ефективності, які часто залежать від конкретних класів КІС. У тому числі детерміновані, псевдовипадкові, нечіткі, перебірні, еволюційно-генетичні, послідовні, паралельні, з урахуванням пошуку завширшки чи глибини та його численних комбінацій [10]. Багато ефективних формальних моделей і методів дозволяють визначити риси відповідної енерго-поведінкової технології моніторингу, контролю та тестування КІС.

У зв'язку з цим доцільним стає дослідження та формування компонентів енерго-поведінкової технології моніторингу, контролю та тестування КІС, яка охоплює специфікації від логічної, що включає, наприклад і зокрема, сенсори та актуатори розподілених сенсорних мереж, до архітектурної, що містить підсистеми КІС.

Мета дослідження – розробити базові компоненти нової інформаційної енерго-поведінкової технології моніторингу, контролю та тестування КІС (далі – енерго-поведінкової технології тестування) системного, функціонального та логічного рівнів для можливості досягнення більшої повноти та точності перевірки.

Для досягнення мети потрібно на підставі попередньо виконаного аналізу існуючих підходів та рішень виконати наступні завдання:

- обрати та удосконалити енерго-поведінкову модель, яка дозволяє на її основі комплексно, у взаємодії та доповненні виконувати моніторинг, контроль та тестування КІС, як автономно для окремих компонентів КІС, так і у кооперації компонентів для усієї КІС;

- обрати та удосконалити базові енерго-поведінкові методи моніторингу, контролю та тестування КІС для окремого й комплексного використання ускладі нової енерго-поведінкової технології тестування, які дозволяють автономне й кооперативне комплексне використання у складі сценаріїв енерго-поведінкової технології тестування.

При виконанні першого завдання визначено та вдосконалено формальну дворівневу модель тестування, засновану на розширеній ієрархічній мережі Петрі, що представляє асинхронно-подійну поведінку КІС, та моделі верифікації енерго-навантаженої поведінки [10].

Розвиток моделі тестування передбачає виділення у поведінці вхідної ієрархічної мережі Петрі позицій, переходів, їх подій та дій, як структур умов та функцій, безпосередньо пов'язаних з енергетичними умовами та функціями, у тому числі контрольних точок – зовнішніх входів та виходів для умов та дій мережі Петрі.

У цьому випадку енергетичні, зокрема, енергетичні характеристики розширюють специфікації умов та функцій у складі подій та дій для позицій та переходів характеристики розширюють специфікації умов та функцій у складі подій та дій для позицій та переходів.

Далі розвиток моделі передбачає визначення для поведінки вхідної мережі Петрі двох типів топологічних структур управління (реалізації) та спостереження (транспортування), пов'язаних з початковими та кінцевими контрольними точками, які виділені в них, а саме:

- по-перше, структур для основної поведінки в алфавітах умов та функцій;
- по-друге, структур для диференціальних та інтегральних енерго-навантажених, транспортних фішок, які мігрують при функціонуванні мережі Петрі.

Реалізація та транспортування поведінки реалізують кооперацію при вирішенні завдання тестування у функціонуванні підмереж Петрі у складі спільної мережі Петрі, які представляють структурні компоненти у складі загальної КІС.

На наступному кроці розвитку вхідна мережа Петрі декомпозується – у ній виділяється спеціальний енергетичний рівень, куди виносяться представлені енерго-навантажені компоненти мережі Петрі та її поведінки, у тому числі з міграцією енерго-навантажених фішок у структурах управління та спостереження.

Нарешті, на основі дворівневої мережі Петрі визначаються тестові примітиви та фрагменти, у тому числі енерго-поведінкові, розміщені у її двох рівнях. Базові критерії тестування – повнота, довжина, кратність – наслідуються від вхідної моделі верифікації [10].

При виконанні другого завдання обрано [11] та розвинено методи енерго-поведінкових моніторингу, верифікації та тестування, засновані на запропонованій удосконаленій моделі тестування, що допускають як самостійне застосування, так і роботу в композиціях у рамках інформаційної технології тестування КІС.

Метод моніторингу енергетичних характеристик окремих точок КІС виконує:

- по-перше, управління-реалізацію енергетичної поведінки для доступних елементів від енергетичної поведінки на заданих у моделі спеціальних вхідних (безпосередньо керованих) елементах, зокрема, на зовнішніх входах, на основі спеціально формованих структур реалізації загальну структуру поведінки мережі Петрі;

- по-друге, транспортне завантаження-фіксацію енергетичної поведінки, якщо транспортний елемент – фішки;

- по-третє, спостереження-транспортування (у тому числі як міграційне досягнення для фішок) енергетичної поведінки для елементів, доступних управлінню-реалізації, до енергетичної поведінки на заданих у моделі спеціальних вихідних (безпосередньо спостерігаються) елементах, зокрема, на зовнішніх виходах, на основі спеціально формованих структур транспортування у загальній структурі поведінки мережі Петрі,

- по-четверте, транспортне вивантаження енергетичних значень, якщо транспортний елемент – фішки;

- по-п'яте, реєстрацію та аналіз допустимості енергетичної поведінки, отриманої на заданих у моделі спеціальних вихідних (безпосередньо спостережуваних) елементах, зокрема, на зовнішніх виходах.

У методі для оптимізації моніторингу енергетичних характеристик, зокрема, побудови структур реалізації та транспортування у загальній структурі поведінки мережі Петрі, застосовано паралельні модифікації графово-топологічного пошуку, зокрема пошук у глибину, завширшки, еволюційно-генетичний.

Метод моніторингу диференціальних та інтегральних енергетичних характеристик базових структур поведінки (ланцюгів, дерев, гамаків, циклів) моделі мережі Петрі для КІС виконує:

- по-перше, визначення власне базових топологічних структур у загальній структурі поведінки мережі Петрі та їх вхідних та вихідних контрольних точок;

- по-друге, визначення диференціальних та інтегральних енергетичних фрагментів енергетичної поведінки базових структур, що керуються-реалізуються на спеціальних фрагментах енергетичної поведінки входів для базових структур, а також спостерігаються-транSPORTуються на спеціальні фрагменти енергетичної поведінки виходів з базових структур, за допомогою визначення: а) диференціальних та інтегральних енергетичних характеристик базових структур, а також фрагментів енергетичної поведінки на їх основі; б) поведінкових структур управління-реалізації фрагментів енергетичної поведінки для входів базових структур від зовнішніх входів моделі; в) поведінкових структур спостереження-транSPORTування (у тому числі як міграційного досягнення для фішок) фрагментів

енергетичної поведінки від виходів базових структур до зовнішніх виходів моделі; г) управління-реалізації та спостереження-розпізнавання транспортних структур;

- по-третє, побудова а) власних наскрізних поведінкових структур реалізації-управління фрагментами енергетичної поведінки на виходах базових структур через ці структури; б) власних наскрізних поведінкових структур транспортування-спостереження фрагментів енергетичної поведінки від входів базових структур через ці структури; міграції фрагментів диференціальних та інтегральних енерго-навантажених фішок у базових структурах;

- по-четверте, асинхронно-подію конденсацію а) заданих базових структур у загальній моделі мережі Петрі, б) наскрізних структур реалізації-управління фрагментами енергетичної поведінки через базові структури, в) наскрізних структур транспортування-спостереження фрагментів енергетичної поведінки через базові структури, в) наскрізних транспортних структур міграції фрагментів енергетичної поведінки на основі диференціальних та інтегральних енерго-навантажених фішок через базові структури;

- по-п'яте, реєстрацію та аналіз допустимості фрагментів енергетичної поведінки на основі фрагментів енергетичної поведінки, отриманих на виходах базових структур та моделі в цілому.

У методі для оптимізації моніторингу, зокрема, побудови структур реалізації та транспортування в базових структурах, у часткових та повних конденсаціях загальної структури поведінки мережі Петрі також, як і в попередньому методі моніторингу енергетичних характеристик окремих точок, застосовані паралельні модифікації графово-топологічного пошуку, зокрема, пошук у глибину, завширшки, еволюційно-генетичний.

Метод верифікації та тестування енерго-поведінкових характеристик моделі мережі Петрі для КІС виконує:

- по-перше, побудова енергетичних та енерго-поведінкових ідентифікаторів позицій/переходів;

- по-друге, визначення енергетичних та енерго-поведінкових примітивів тестування базових структур та мережі Петрі загалом;

- по-третє, побудова енергетичних та енерго-поведінкових ідентифікаторів фрагментів вхідної поведінки за її вихідного розпізнавання;

- по-четверте, побудови енерго-поведінкових структур зовнішнього управління-реалізації тестових фрагментів на елементах мережі Петрі від її зовнішніх входів;

- по-п'яте, побудови енерго-поведінкових структур зовнішнього спостереження-транспортування тестових фрагментів на елементах мережі Петрі до її зовнішніх виходів;

- по-шосте, формування (і накопичення) верифікованих фрагментів енергетичної поведінки на основі ідентифікації позицій/переходів, ототожнення розміток позицій/переходів та детермінізації фрагментів енергетичної поведінки;

- по-сьоме, розрахунок значень критеріїв повноти, довжини, кратності тестування та прийняття рішення про продовження тестування.

У методі для оптимізації тестування, зокрема, побудови ідентифікаторів, структур реалізації та транспортування тестових фрагментів, у часткових та повних конденсаціях загальної структури поведінки мережі Петрі, не конденсованої мережі Петрі так само, як і в попередніх методах моніторингу енергетичних характеристик окремих точок та базових структур, застосовані паралельні модифікації графово-топологічного пошуку, зокрема, пошук у глибину, завширшки, еволюційно-генетичний.

Запропоновані методи моніторингу, верифікації та тестування енерго-навантаженої поведінки моделей мереж Петрі дозволяють виконувати основні дії перевірки достовірності функціонування специфікованих на системно-функціональному рівні асинхронно-подійних розподілених систем та є базовими компонентами інформаційної технології моніторингу, верифікації та тестування КІС. У порівнянні з суто поведінковими методами, перевірка КІС

на основі запропонованих рішень показала скорочення часу отримання результату, поліпшення його повноти та точності за рахунок додаткового розгляду енергетичних характеристик при деякому ускладненні аналізу.

Висновок. У основі удосконалення та налаштування моделей та методів енерго-поведінкового тестування запропоновані базові компоненти енерго-поведінкової технології моніторингу, контролю і тестування КІС, які при реалізації у засобах й системах технічного діагностування дозволяють досягнути більшої повноти, точності та оперативності перевірок, як для окремих компонентів та підсистем КІС за рахунок автономних перевірок, так і для КІС у цілому при кооперації перевірок.

Запропонована енерго-поведінкова модель тестування використовує фіксоване розміщення власних частин-підмоделей, тому розроблені на її основі методи тестування також успадковують фіксовану локалізацію, як наслідок, то обмежує можливість обміну подіями та функціями у середовищі засобів тестування та й загалом у середовищі КІС, де такі засоби розміщено.

В умовах не детермінованого, випадкового функціонування сучасних та перспективних усе більш потужних та масштабних КІС, яке часто залежить від зовнішніх, часто невідомих впливів, також стає ще більш актуальними характеристики автоматизованості та інтелектуальності як КІС, так і засобів тестування. Таки обмеження визначають напрям подальших досліджень та удосконалень моделей, методів та технологій тестування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tanenbaum A. S., Steen M. V. “Distributed Systems: Principles and Paradigms”. 3rd ed. *Prentice Hall Press*. 2013.
2. Elyasi Komari I., Gorbenko A., Kharchenko V., Mamalis A. “Analysis of computer network reliability and criticality: Technique and features”. *IJCNS*. 2011; 4: 720–726. DOI: <https://doi.org/10.4236/ijcns.2011.411088>.
3. Shostak K., Danova M., Romanenkov Y., Bugaienko O., Volk M., Karminska-Bielobrova M. “Organization of information support for business processes at aviation enterprises by means of ontological engineering”. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018; 2: 45–55. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126673>
4. Haq F. U., Shin D., Nejati S., Briand L. C. “Comparing offline and online testing of deep neural networks: An autonomous car case study”. *2020 IEEE 13th International Conference on Software Testing, Validation and Verification*. Porto, Portugal. 2019. p. 85–95. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICST46399.2020.00019>.
5. “Sample System Integration Test Plan - XYZ Remote Office Payroll System Copyright, Rice Consulting Services”. 2019. – Available from: <https://www.practitest.com/assets/pdf/system-integration-testing-template.pdf>
6. Ammann P., Offutt J. “Introduction to software testing”. *Cambridge University Press*. 2016. p. 26.
7. Burguillo T. “Multi-agent Systems”. In: *Self-organizing Coalitions for Managing Complexity. Emergence, Complexity and Computation*. Springer, Cham. 2018; 29: 69–87. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-69898-4_5.
8. Hameedah S., Anjali C., Smruti Sarangi R.. “A survey of chip-level thermal simulators”. *ACM Comput. Surv.* 2019; 52 (2): 1–35. DOI: <https://doi.org/10.1145/3309544>.
9. Martynyuk O. M., Drozd O. V., Nesterenko S. A., Skobtsov V. Y., Bui Van Thiong. “Behavioral hidden testing of distributed information systems taking into account of energy”. *Herald of Advanced Information Technology*. 2021; 4 (2): 135–145. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.02.2021.3>.
10. Martynyuk O., Drozd O., Bui Van Thiong, Stepova H., Sugak L., Martynyuk D. “Some method of behavioral energy testing of distributed computer systems”. In: *Proceedings of 11th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2023)*. Athens, Greece, 2023. p. 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416525>.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.01.2024.12>

UDC 004.75

Analyze, monitoring and testing of computer information systems

Oleksandr M. Martyniuk¹⁾

PhD, Associate Professor, Department of Computer Intellectual Systems and Networks

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1461-2000>; anmartynyuk@ukr.net. Scopus Author ID: 57103391900

Oleksandr V. Drozd¹⁾

Dr. Sc., Professor, Department of Computer Intellectual Systems and Networks

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8305-2217>; drozd@ukr.net. Scopus Author ID: 57190428346

Bui Van Thyong¹⁾

PostGraduate Student, Department of Computer Intellectual Systems and Networks

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9160-5982>; govarava@gmail.com

Illya O. Baskov¹⁾

Senior Teacher, Department of Information Systems

E-mail: illyabaskov@ukr.net

¹⁾ National University “Odeskaya Polytechnica”, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

The high importance and criticality of the efficiency and reliability of the functioning of modern computer information systems require efforts to ensure them, which are no less, than the efforts to develop the systems themselves. Offline and online monitoring and testing of computer information systems, which are often used to ensure efficiency and reliability of functioning, involve the development and implementation of appropriate hardware, software and information tools, as part of automated technical diagnostic systems. Features of both the computer information systems themselves and the means of monitoring and testing are their network distribution, autonomy and at the same time cooperation of all their components. Such features appear already in the system-functional presented systems and impose requirements for a special analysis of all their properties and functions, in that case also energy ones. The proposed work is focused on the implementation of energy-behavioral monitoring and testing of computer information systems, defines a formal presentation of a special analysis of the relevant hardware and software tools and is based on asynchronous-event models of extended Petri nets and behavioral experiments. This representation is based on models of energy-behavioral specification and testing, parallel, associative-evolutionary methods of monitoring and testing with the accumulation of blanks and results that differ in special features. The proposed presentation makes it possible to create a new system energy-behavioral technology for monitoring and testing computer information systems.

Keywords: Computer information systems; energy-behavioral monitoring; energy-behavioral testing; extended petri nets; energy-behavioral specifications; associative-evolutionary testing methods