



А. І. Пукач, В. М. Теслюк

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

МОДЕЛЬ БАЛАНСУВАННЯ МУЛЬТИСУБ'ЄКТНИХ ПОЛІФАКТОРНИХ СЕРЕДОВИЩ ПІДТРИМКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА БАЗІ КОЛЬОРОВИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Розроблено модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки програмного забезпечення (ПЗ) на базі кольорових мереж Петрі, що забезпечує можливість вирішення завдань дослідження динаміки процесів у контексті вирішення науково-прикладної проблеми балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ комплексної підтримки програмного забезпечення (програмних продуктів/комплексів). Водночас, цей спектр проблем входить до кластера більш глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки програмних продуктів, а також дослідження релевантної проблематики людино-машинної взаємодії. Подано відповідний алгоритм балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, на підставі якого функціонує розроблена однійменна модель. Побудовано дерево досяжності станів розробленої моделі (балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ) на базі кольорових мереж Петрі, що підтверджує досяжність та скінченність кожного із станів моделі. Виконано практичну апробацію розробленої моделі на прикладі моделювання експериментального практичного прикладного завдання моніторингу поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта мультисуб'єктного середовища підтримки у процесі балансування останнього, а отримані результати практичної апробації підтверджують дієвість та ефективність розробленої моделі щодо вирішення завдань дослідження динаміки процесів в контексті вирішення науково-прикладної проблеми балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ комплексної підтримки програмного забезпечення (програмних продуктів / комплексів). Розглянуто перспективи подальших досліджень і потенційних способів розвитку та вдосконалення як у контексті обраної тематики досліджень, так і глобальної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки програмних продуктів та людино-машинної взаємодії.

Ключові слова: програмний продукт; комплексна підтримка; середовище підтримки; балансування.

Вступ / Introduction

Для сучасного ринку інформаційних технологій (ІТ) характерний надзвичайно динамічний ріст кількості та складності наявного та розроблюваного програмного забезпечення, і все це ПЗ потребує комплексної підтримки, що охоплює не лише "класичну" клієнтську або технічну підтримку, а, фактично, весь спектр активностей, покликаних забезпечити його життєздатність в умовах агресивного ІТ-ринку.

Серед таких фундаментальних активностей і, водночас, складових частин комплексної підтримки ПЗ виокремимо такі, як: упровадження методологій Agile та DevOps; опрацювання звернень; упровадження чат-ботів; автоматизація тестування ПЗ; системна інженерія; розроблення функціональних вимог та інші. Розглянемо детальніше деякі з них.

Зокрема, автори Plogi, Nwosu та Naiho у своєму концептуальному дослідженні [7] вивчають проблематику підвищення ефективності ІТ-аудиту за допомогою методологій Agile. Тоді як автори Yechuri та Budidha у контексті свого дослідження, здійсненого в роботі [22], вивчають проблематику використання машинного нав-

чання для розширеного автоматизованого тестування програмного забезпечення у гнучких середовищах. Водночас у роботі [3] Beard та ін. здійснюють комплексний розширений аналіз сучасного стану речей у контексті розвитку методології Agile, спираючись на категорії її перспектив, реальності та потенційних можливостей.

У роботі [13], за авторства Ojel та Teleron, подано комплексний аналіз та аналіз конфігураційного менеджменту і засобів автоматизації у контексті сучасних конфігурацій середовищ розроблення та ІТ-інфраструктури, порівнюючи, зокрема, такі популярні рішення, як Ansible, Puppet, Chef, та Terraform. Водночас інша праця [10], за авторства Kokku, дає розуміння потенційних способів підвищення рівня безпеки операційних середовищ розроблення, тобто DevOps, запроваджуючи актуальні технології штучного інтелекту та машинного навчання.

Колектив авторів праці [15], серед яких Pergana та ін., здійснили аналіз вузьких місць і ресурсів в інформаційній службі підтримки за допомогою відповідного опрацювання процесів на підставі релевантної моделі бізнес-процесів, отриманої внаслідок аналізу даних із

Інформація про авторів:

Пукач Андрій Ігорович, канд. техн. наук, асистент, кафедра автоматизовані системи управління.

Email: andriipukach@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0001-8563-3311>

Теслюк Василь Миколайович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизовані системи управління.

Email: vasyt.teslyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5974-9310>

Цитування за ДСТУ: Пукач А. І., Теслюк В. М. Модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки програмного забезпечення на базі кольорових мереж Петрі. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 2. С. 156–161.

Citation APA: Pukach, A. I., & Teslyuk, V. M. (2025). Colored Petri nets based balancing model for multisubject polyfactor software support environments. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(2), 156–161. <https://doi.org/10.36930/40350218>

журналу служби підтримки та опрацювання звернень користувачів, з подальшим моделюванням за допомогою інструменту Celonis. Водночас праця [6], за авторства Dhoolia та багатьох ін., репрезентує когнітивну систему для технічної підтримки, здатну опрацювати базові звернення клієнтів типу "як зробити ...", які становлять більше половини запитів до служби підтримки, формуючи базу знань не на підставі анкетування користувачів, а на підставі бази вже опрацьованих звернень.

John, Oosthuizen і Fanta у своїй праці [8] розглядають можливості щодо інтеграції технологій штучного інтелекту в середовища системної інженерії, оцінюючи можливі ризики на кожному з етапів життєвого циклу програмного продукту.

У цих дослідженнях, як і багатьох інших, продемонстровано складові частини комплексної підтримки програмних продуктів, кожна з яких окремо, та всі вони разом, забезпечують життєдіяльність цих продуктів. Проте, на жаль, у межах наявних досліджень основний акцент зроблено саме на об'єктах або на процесах, відповідних складових частинам комплексної підтримки програмного забезпечення, тоді як надзвичайно важливим аспектом цієї підтримки є, якраз, суб'єкти. Суб'єктами комплексної підтримки виступають безпосередні "виконавці" процесів цієї підтримки, які, взаємодіючи з об'єктом підтримки (підтримуваним програмним продуктом, або процесами його підтримки), забезпечують коректність його функціонування.

Ще однією властивістю суб'єктів підтримки є їх здатність об'єднуватися в середовища підтримки. Водночас якість підтримки суб'єктів залежить від факторів, що впливають на суб'єктивізацію сприйняття ними об'єкта підтримки. Відповідно, на виході отримуємо мультисуб'єктне поліфакторне середовище підтримки, ключовим показником ефективності якого є рівень його збалансованості, що вказує на збіг (або розбіжності) персоналізованого сприйняття одного та того ж самого об'єкта підтримки різними суб'єктами, котрі взаємодіють з об'єктом та об'єднані в спільне середовище підтримки цього об'єкта. Отже, виникає відповідна науково-прикладна проблема балансування таких мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, а також похідне науково-прикладне підзавдання дослідити динаміку процесів балансування поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, в чому і полягає актуальність цієї роботи.

Об'єкт дослідження – динаміка балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ.

Предмет дослідження – методи та засоби дослідження динаміки балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, що дасть змогу проаналізувати зміну відповідних процесів та ідентифікувати потенційно проблемні ділянки.

Мета роботи – розробити модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що дасть змогу досліджувати динаміку відповідних процесів задля забезпечення виконання умов досяжності та скінченності кожного із станів розробленої моделі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- розробити алгоритм балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, що дасть змогу дослідити відповідні процеси для забезпечення можливості їх подальшого комп'ютерного моделювання;

- розробити модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що дасть змогу вивчати динаміку досліджуваних процесів та ідентифікувати потенційно проблемні ділянки;
- побудувати дерево досяжності станів розробленої моделі на базі кольорових мереж Петрі, що забезпечить виконання умов досяжності та скінченності кожного із станів розробленої моделі;
- здійснити апробацію розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на прикладі вирішення практичного завдання, що підтвердить її дієвість та ефективність;
- проаналізувати отримані результати та сформулювати відповідні висновки, що забезпечать можливість практичного застосування запропонованого рішення щодо вирішення науково-прикладних завдань динаміки процесів балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [4] автори досліджують рішення завдання балансування середовища DCN-серверів з використанням машинного навчання програмно визначеної мережі, основна суть якого полягає в застосуванні навчених моделей штучних нейронних мереж для передбачення перевантаження мережі та динамічного коригування потоків трафіку, забезпечуючи ефективний розподіл навантаження між серверами досліджуваного середовища.

Водночас у роботі [9] автори пропонують удосконалений підхід до балансування навантаження для застосунків, що функціонують у межах середовища обчислювального туману (дані середовища є похідними від хмарних середовищ), використовуючи моніторинг у реальному часі та аналіз показників туманних вузлів, таких як використання ресурсів, перевантаженість мережі та час відповіді служби, щоб полегшити ефективний розподіл навантаження.

Автор роботи [1] досліджує підхід для вивчення динаміки виявлення та мінімізації потенційних загроз у середовищах масштабованих архітектур ПЗ. Тоді як авторський колектив іншої роботи [5] досліджує завдання інтелектуалізації процесу управління трафіком і затримкою в середовищах оброблення даних на підставі вмісту за допомогою модифікованих заголовків пакетів, машинного навчання, балансування навантаження та середовищ мережевої телеметрії. Водночас автор дослідження [21] вивчає проблематику балансування навантаження у середовищах мереж блокчейн. Тоді як автори дослідження [12] здійснили комплексний аналіз різноманітних наявних алгоритмів балансування навантаження в середовищах обчислювального туману (хмарних технологій). Як доповнення, авторський колектив дослідження [14] здійснив комплексний аналіз наявних підходів щодо балансування навантаження в середовищах хмарних обчислень.

У роботі [20], за авторства Таманампуді, здійснено комплексне дослідження проблематики оцінювання стабільності продуктивності великих мовних моделей та розроблено відповідну методологію, яка забезпечувала б постійний порівняльний аналіз продуктивності моделей, зокрема, в середовищах клієнтської підтримки та розроблення ПЗ, де послідовність продуктивності та швидкість реагування є одними з найважливіших критеріїв.

Отже, результати аналізу останніх досліджень та публікацій підтверджують актуальність вирішення зав-

дань балансування саме мультисуб'єктних поліфакторних середовищ комплексної підтримки ПЗ, особливість яких пов'язана з урахуванням фактору суб'єктивізації його сприйняття. З огляду на це, виникає релевантне актуальне науково-прикладне завдання, вирішення якого подано у цьому дослідженні.

Результати досліджень та їх обговорення / Research results and their discussion

Метод, описаний у роботі [17], забезпечує можливість формування поліфакторних персональних портретів суб'єктів підтримки програмних продуктів. Водночас об'єднання множини персональних портретів кожного із суб'єктів досліджуваного мультисуб'єктного середовища підтримки – дає змогу отримати відповідний мультисуб'єктний поліфакторний портрет цього середовища. Надалі отриманий мультисуб'єктний поліфакторний портрет досліджуваного середовища виступає як один із вхідних параметрів розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що функціонує за чітко прописаним алгоритмом, поданим нижче.

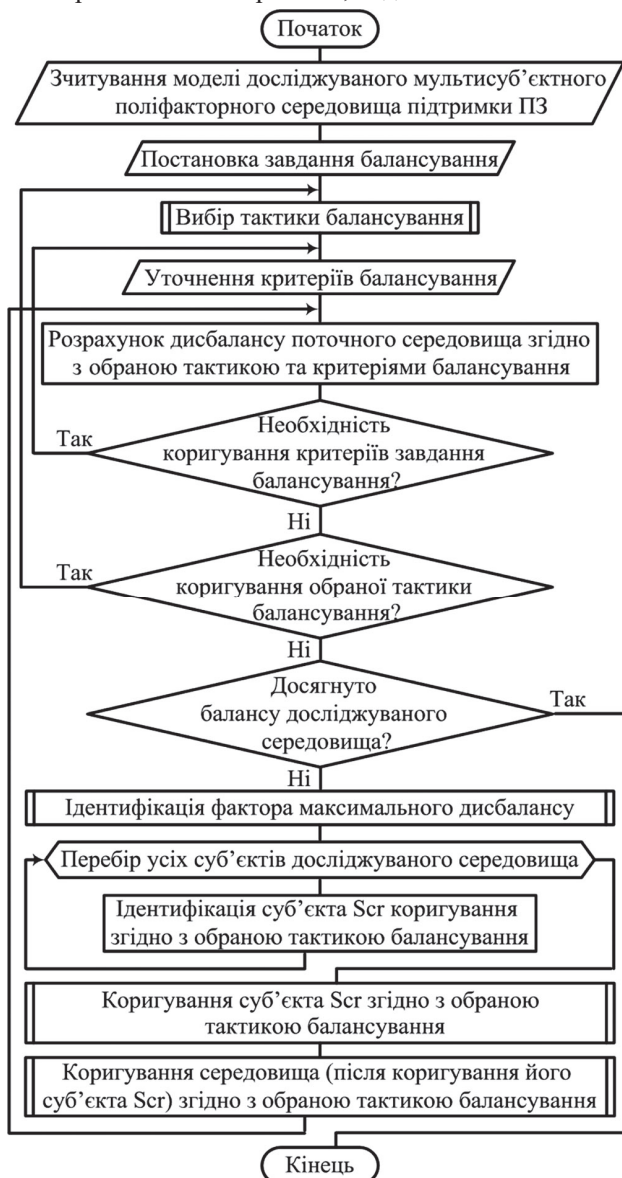


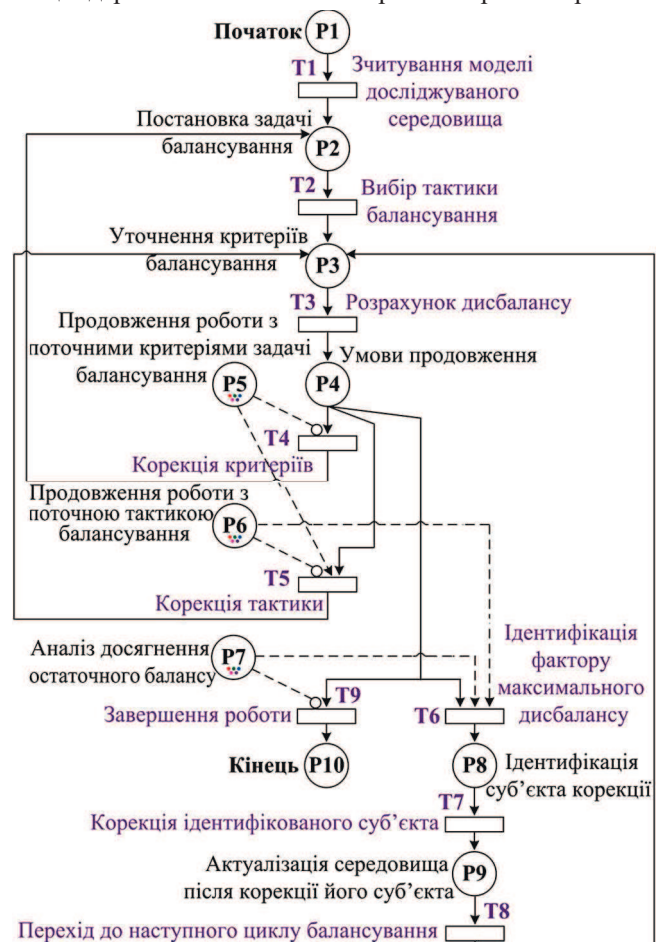
Рис. 1. Блок-схема алгоритму балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ / Block diagram of the algorithm for balancing multisubject polyfactor software support environments

Зокрема, на рис. 1 подано блок-схему розробленого алгоритму балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ. Варто відзначити наявність у розробленому алгоритмі двох додаткових умов (що слідують одразу ж після розрахунку дисбалансу поточного середовища відповідно до обраної тактики та наявних критеріїв балансування), а саме: зовнішня умова, що відображає потребу коригування критеріїв завдання балансування; а також внутрішня умова, котра відображає потребу коригування обраної тактики балансування.

Зовнішня умова потрібна для того, щоб забезпечити можливість виходу із потенційних рекурсивних сценаріїв замкнутого циклу, коли всі можливі тактики балансування вже були випробувані, проте досягнути задекларованої умови завдання балансування так і не вдалося досягти.

Внутрішня ж умова, водночас, потрібна для того, щоб забезпечити можливість виходу із потенційних рекурсивних сценаріїв замкнутого циклу, коли поточний обраний варіант стратегії балансування не забезпечив позитивної динаміки впродовж наперед узгодженої кількості ітерацій балансування.

На рис. 2 подано візуалізацію розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі.



Додатковою особливістю розробленої моделі є запропонована стекова організація сховища кольорових міток у вузлах моделі, за якої послідовні групи кольорових міток (різних кольорів) розділені між собою "порожніми" мітками (що імітують відсутність міток у поточному циклі функціонування цього вузла). Така організація забезпечує додаткову оптимізацію моделі, відкидаючи потребу введення значної кількості додаткових вузлів (що виступатимуть в ролі "агрегаторів-сховищ" різних груп кольорових міток) та переходів мережі Петрі.

Відсутність міток у позиції "P7" розробленої моделі (див. рис. 2) свідчить про досягнення остаточного балансу (в ході балансування досліджуваного мультисуб'єктного поліфакторного середовища підтримки), після чого спрацюванням переходу "T9" маркер потрапляє в позицію завершення роботи моделі "P10".

На рис. 3 подано візуалізацію побудованого дерева досяжності станів розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що демонструє скінченність та досяжність кожного із станів розробленої моделі, забезпечуючи унеможливлення виникнення будь-яких рекурентних замкнутих циклів некоректного функціонування моделі.

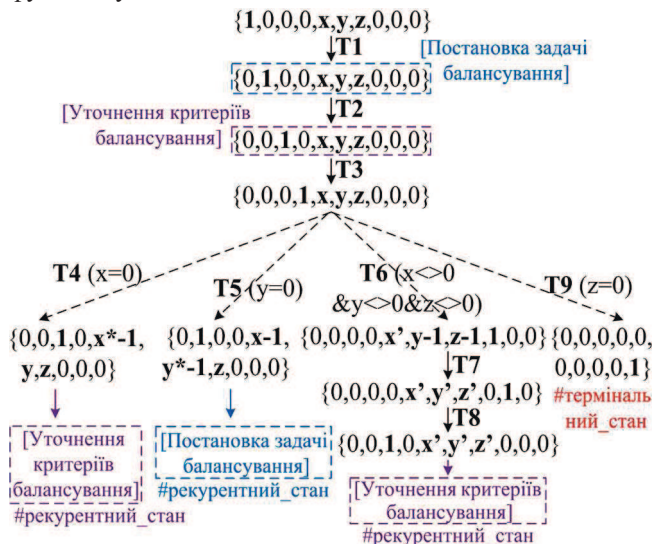


Рис. 3. Дерево досяжності станів розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі / State reachability tree of the developed colored Petri nets – based balancing model for multisubject polyfactor software support environments

Отже, розроблення задекларованої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, фактично, завершено. Проте фінальним етапом є її практична апробація на прикладі вирішення експериментального завдання моніторингу поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта мультисуб'єктного середовища підтримки у процесі балансування останнього, вирішення якої подано далі.

Вирішення задекларованого прикладного практичного завдання зводиться до таких ключових етапів, як: формування досліджуваного мультисуб'єктного поліфакторного середовища підтримки; дослідження динаміки балансування за допомогою представленої розробленої моделі на базі кольорових мереж Петрі; та, безпосередньо, моніторинг поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта мультисуб'єктного середовища під-

тримки у процесі балансування останнього. Зокрема, на рис. 4 подано візуалізацію отриманого портрету досліджуваного мультисуб'єктного поліфакторного середовища підтримки, як результат виконання першого етапу вирішення задекларованого прикладного практичного завдання.

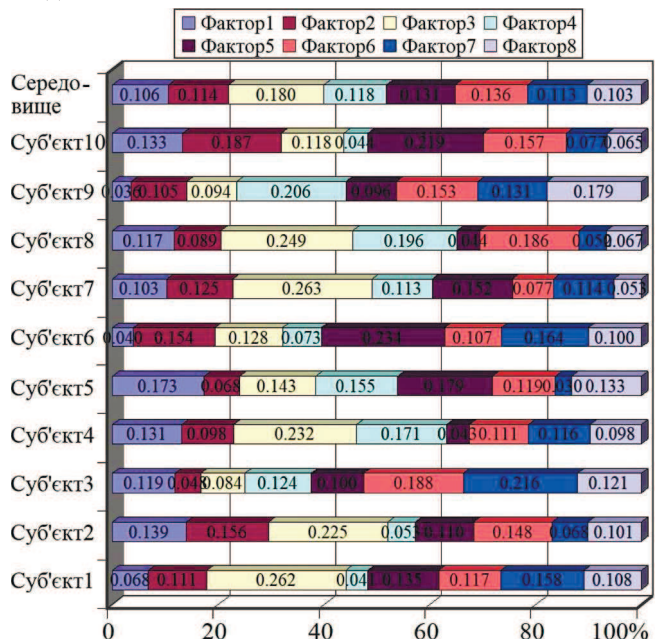


Рис. 4. Візуалізація портрету досліджуваного мультисуб'єктного поліфакторного середовища підтримки / Portrait visualization of the investigated multisubject polyfactor support environment

Здійснивши моделювання динаміки балансування досліджуваного мультисуб'єктного поліфакторного середовища за допомогою розробленої в цій роботі моделі на базі кольорових мереж Петрі, отримуємо відповідні результати динаміки процесу балансування, репрезентовані на рис. 5.

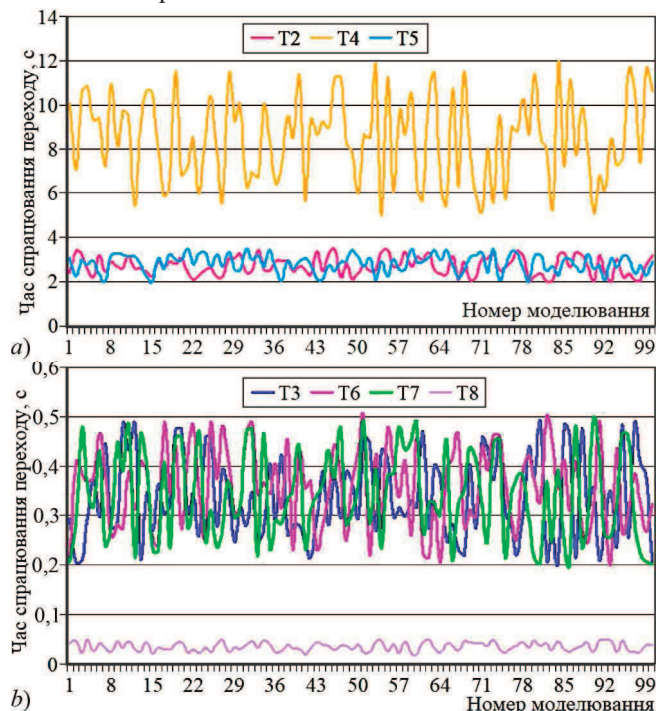


Рис. 5. Результати роботи моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі / Operation results of the developed colored Petri nets based balancing model for multisubject polyfactor software support environments

Фінальним етапом вирішення задекларованого прикладного практичного завдання є, власне, моніторинг поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта (у цьому конкретному експериментальному випадку виступатиме "Суб'єкт2") мультисуб'єктного середовища підтримки в процесі балансування останнього. Зокрема, на рис. 6 подано візуалізацію результатів здійсненого моніторингу поліфакторної динаміки "Суб'єкта2" досліджуваного мультисуб'єктного середовища підтримки.

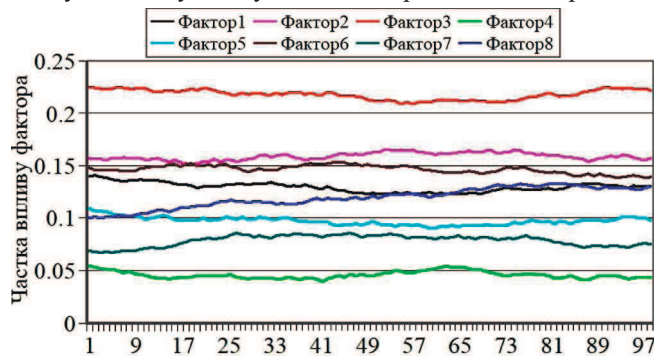


Рис. 6. Візуалізація результатів моніторингу поліфакторної динаміки "Суб'єкта2" досліджуваного мультисуб'єктного середовища підтримки / Monitoring results visualization of the polyfactor dynamics of Subject2 of the researched multisubject support environment

Отже, повністю завершено апробацію розробленої моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі на прикладі вирішення експериментального прикладного практичного завдання моніторингу поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта мультисуб'єктного середовища підтримки в процесі балансування останнього. Водночас отримані результати підтверджують дієвість та ефективність розробленої моделі як під час вирішення цього експериментального завдання, так і загалом у контексті вирішення науково-прикладних і прикладних практичних завдань дослідження динаміки процесів балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ комплексної підтримки програмних продуктів (програмного забезпечення).

Обговорення результатів дослідження. Робота [19] репрезентує модель балансування навантаження в середовищі віртуальних машин у контексті хмарних технологій, згідно з якою віртуальні машини розподіляються до фізичних на підставі стану та рандомізації (випадкового порядку), попередньо визначаючи стан завантаження фізичної машини (як високий, середній або низький), після чого (у випадковому порядку) здійснюється розподіл віртуальної машини.

Водночас праця [11] містить комплексний аналіз наявної літератури та досліджень, проведених у галузі оптимального балансування навантаження на серверах у середовищах хмарних інфраструктур, здійснюючи аналіз продуктивності різних наявних алгоритмів балансування навантаження на підставі різних параметрів, з метою пошуку потенційних способів покращення.

В іншому дослідженні [2] автори здійснили комплексний аналіз алгоритмів балансування навантаження в середовищах хмарних обчислень на базі алгоритму штучної бджолиної колонії, основними особливостями якого є те, що він надзвичайно надійний, конвергентний і гнучкий, а також обговорюються деякі фундаментальні ідеї щодо інтелекту та характеристик рою.

У праці [18] досліджують проблематику балансування навантаження та модель паралельних обчислень для підвищення продуктивності та точності в середовищах кластерів вузлів, представляючи вдосконалені моделі, що мають можливості балансування навантаження на кожну окрему віртуальну машину та визначення довжини завдання для виконання розподіленого оброблення над віртуальною машиною, внаслідок чого навантаження рівномірно розподіляються та обробляються між усіма віртуальними машинами.

Як доповнення, автори роботи [16] здійснили дослідження комплексної проблематики балансування розподілу завдань у середовищах хмарних інфраструктур, з урахуванням різних факторів впливу, зокрема таких, як: час і вартість виконання, масштабованість і надійність інфраструктури, доступність і пропускна здатність платформи, використання ресурсів і робочий період, пропонуючи відповідну модель динамічного коригування параметрів за допомогою алгоритму на підставі дискретного позиціонування.

Водночас представлена в цій роботі модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, забезпечує можливість урахування як різноманітних алгоритмів балансування (закладених у межах відповідних тактик балансування), так і найрізноманітніших факторів впливу, що впливають на особливості, властивості та характеристики середовищ підтримки будь-якого ПЗ.

Отже, внаслідок виконаної роботи сформульовано такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – удосконалено метод формування мультифакторних портретів суб'єктів підтримки програмних комплексів з використанням багатоваріаційного перцептрона у спосіб розроблення додаткової моделі балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі.

Практична значущість результатів дослідження – розроблений алгоритм балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ використано для забезпечення можливості подальшого розроблення програмної компоненти, призначеної для комп'ютерного моделювання досліджуваних процесів динаміки балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ.

Висновки / Conclusions

Розроблено модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що дасть змогу досліджувати динаміку відповідних процесів задля забезпечення виконання умов досяжності та скінченності кожного із станів розробленої моделі. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Розроблено алгоритм (з поданою блок-схемою) балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ, особливістю якого полягає у забезпеченні додаткових умов унеможливлення появи некоректних сценаріїв замкнутого циклу в ході моделювання.
2. Розроблено модель балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ на базі кольорових мереж Петрі, що забезпечує можливість вивчення динаміки досліджуваних процесів балансування таких середовищ.

3. Побудовано дерево досяжності станів розробленої моделі на базі кольорових мереж Петрі, що забезпечує обов'язковість виконання умов досяжності та скінченності кожного із станів розробленої моделі.
 4. Здійснено практичну апробацію розробленої моделі на прикладі вирішення експериментального прикладного практичного завдання моніторингу поліфакторної динаміки окремого заданого суб'єкта мультисуб'єктного середовища підтримки в процесі балансування останнього.
 5. Здійснено аналіз отриманих результатів та сформульовано відповідні висновки, що забезпечує можливість вдосконалення та перспективи подальшого розвитку і практичного застосування запропонованого рішення в контексті дослідження глобальної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки ПЗ.
- Щодо перспективи подальших досліджень, то бачимо потребу в розробленні додаткового спеціалізованого алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації комп'ютерного моделювання розробленої моделі, що уможливить дослідження динамічних процесів балансування мультисуб'єктних поліфакторних середовищ підтримки ПЗ у контексті глобальної науково-прикладної проблематики автоматизації й інтелектуалізації комплексної підтримки програмних продуктів.

References

1. Adusumilli, S. B. K. (2024). Scalable software architecture for dynamic threat detection and mitigation in IoT. *Machine Intelligence Research*, 18(1), 468–481. URL: https://www.researchgate.net/publication/387176360_scalable_software_architecture_for_dynamic_threat_detection_and_mitigation_in_iot
2. Alatawi, H. S., & Alatawi, S. A. (2023). Review of Load Balancing Algorithms Inspired by Artificial Bee Colony Algorithm in the Cloud Computing. *International Journal of Wireless Communications and Network Technologies*, 12(5), 14–27. <https://doi.org/10.30534/ijwcnt/2023/021252023>
3. Beard, J. W., et al. (2024). Agile Development: The Promise, the Reality, the Opportunity. Agil-ISE24: 3rd Intl. *Workshop on Agile Methods for Information Systems Engineering*, 3690, 7–17. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3690/paper-2.pdf>
4. Beissenova, G., Zhidebayeva, A., Kopzhassarova, Z., Kozhabekova, P., Myrzakhmetova, B., Kerimbekov, M., Ussipbekova, D., & Yeshekozhaev, N. (2024). Load Balancing in DCN Servers Through Software Defined Network Machine Learning. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(2), 509–519. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2024.0150254>
5. Das, S., White, A., Lyn, M., & Kalafatis, S. (2025). Smartly Managing Traffic and Latency in a Content-Based data center using Modified Packet Headers, Machine Learning, Load Balancing, and Network Telemetry. In: 2025 *Workshop on Computing, Networking and Communications* (CNC), 162–167. URL: <http://www.conf-icnc.org/2025/papers/p162-das.pdf>
6. Dhoolia, P., Chugh, P., Costa, P., Gantayat, N., Gupta, M., Kambhatla, N., Kumar, R., Mani, S., Mitra, P., Rogerson, C., & Saxena, M. (2017). A cognitive system for business and technical support: A case study. *IBM Journal of Research and Development*, 61(1), 7:74–7:85. <https://doi.org/10.1147/jrd.2016.2631398>
7. Ilori, O., Nwosu, N. T., & Naiho, H. N. N. (2024). Enhancing IT audit effectiveness with agile methodologies: A conceptual exploration. *Engineering Science & Technology Journal*, 5(6), 1969–1994. <https://doi.org/10.51594/estj/v5i6.1217>
8. John, A., Oosthuizen, R., & Fanta, G. (2024). Artificial intelligence integration in systems engineering: navigating opportunities and risks across the system lifecycle. In: 34th Southern African Institute for Industrial Engineering Conference 2024 (SAIIE34), 14-16 October 2024, Vanderbijl Park, South Africa, 706–722. <https://doi.org/10.52202/078172-0039>
9. Kiran, K. R., Kumar, D. L. S., Jyothi, V. E., Cuong, N. H. H., & Ha, N. H. (2024). An advanced ensemble load balancing approach for fog computing applications. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* (IJECE), 14(2), 1825–1833. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i2.pp1825-1833>
10. Kokku, R. (2024). Revolutionizing DevOps Security: AI and ML-Enabled Automated Testing Approaches. *International Journal of Current Science Research and Review*, 7(11), 8140–8144. <https://doi.org/10.47191/ijcsrr/V7-i11-01>
11. Kumar, A. (2022). A Literature Survey on Algorithms for the Optimal Load Balancing in Cloud Computing Environments. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(7), 168–172. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.42845>
12. Mahdi, R. M., Hassan, H. J., & Abdulsahab, G. M. (2024). A Review Load balancing algorithms in Fog Computing. *BIO Web of Conferences*, 97(00036), 1–16. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249700036>
13. Ojel, A. B. B., & Teleron, J. I. (2025). Configuration Management and Automation Tools: A Comparative Analysis and Overview. *International Journal of Advanced Research in Arts, Science, Engineering & Management*, 12(1), 174–185. URL: https://ijar-sem.com/admin/img/19_Configuration%20Management.pdf
14. Oyediran, M. O., Ojo, O. S., Ajagbe, S. A., Aiyeniko, O., Obuzor, P. C., & Adigun, M. O. (2024). Comprehensive review of load balancing in cloud computing system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* (IJECE), 14(3), 3244–3255. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i3.pp3244-3255>
15. Permana, M. C., Prameswari, A., Ginting, A. D., Asjad, M. R., Syakumia, B., & Andreswari, R. (2024). Bottleneck and Resource Analysis on IT Help Desk with Process Mining. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 9(1), 77–85. <https://doi.org/10.25126/jitecs.202491581>
16. Potluri, S., Hamad, A. A., Godavarthi, D., & Basa, S. S. (2023). Enhanced Task Scheduling Using Optimized Particle Swarm Optimization Algorithm in Cloud Computing Environment. *ICST Transactions on Scalable Information Systems*, 1–5. <https://doi.org/10.4108/eetsis.4042>
17. Pukach, A. I., & Teslyuk, V. M. (2025). Method of forming multifactor portraits of the subjects supporting software complexes, using a multilayer perceptron. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1, 130–141. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-12>
18. Sheetal, A. P., Bhima, R. T., Karampudi, R., & Prasad, S. D. V. (2022). Load Balancing and Parallel Computation Model for Performance and Accuracy over the Cluster of Nodes. *Ingénierie Des Systèmes D Information*, 27(2), 343–348. <https://doi.org/10.18280/isi.270219>
19. Suganthi, E., & Selvi, F.K.M. (2024). Cloud Computing by Implementing State and Random-Based Virtual Machine Load Balancing Model. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 17(3), 92–101. <https://doi.org/10.22266/ijies2024.0630.08>
20. Tamanampudi, V. M. (2024). Development of Real-Time Evaluation Frameworks for Large Language Models (LLMs): Simulating Production Environments to Assess Performance Stability Under Variable System Loads and Usage Scenarios. *Distributed Learning and Broad Applications in Scientific Research*, 10, 326–359. URL: https://www.researchgate.net/publication/384804143_Development_of_Real-Time_Evaluation_Frameworks_for_Large_Language_Models_LLMs_Simulating_Production_Environments_to_Assess_Performance_Stability_Under_Variable_System_Loads_and_Usage_Scenarios
21. Wijesekara, P. (2024). Load Balancing in Blockchain Networks: A Survey. *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, 13(4), 260–276. <https://doi.org/10.18178/ijeetc.13.4.260-276>
22. Yechuri, P. M., & Budidha, N. (2024). Leveraging Machine Learning for Enhanced Automated Software Testing in Agile Environments. *Bulletin of Engineering Science and Technology*, 01(01), 29–41. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/591056-leveraging-machine-learning-for-enhanced-6df085e9.pdf>

COLORED PETRI NETS BASED BALANCING MODEL FOR MULTISUBJECT POLYFACTOR SOFTWARE SUPPORT ENVIRONMENTS

This research is devoted to the development of a model, based on colored Petri nets, for balancing multisubject multifactor software support environments. The developed model provides possibilities for solving problems of studying the dynamics process in the field of solving the scientific and applied problem of balancing multisubject polyfactor software support environments. In turn, this scientific and applied problem is part of a cluster of more global scientific and applied problematic of automation and intellectualization of the comprehensive support of software products, as well as the problems of human-machine interaction. As the main method tool for developing a declared balancing model for multisubject polyfactor software support environments, colored Petri nets have been used, which provide the opportunity for studying the dynamics of processes at the early stages of system design. The main feature of the developed model is its ability to simulate parallel processes, which is provided by supporting the processing of such procedures specifically by the colored Petri nets, due to the presence of various colored markers in scope of their procedural, structural and functional arrangement. The developed model operates on the basis of the corresponding presented algorithm, which ensures its correct functioning and prevents the occurrence of any exceptional situations not allowed by the algorithm. Moreover, the model is equipped with an additionally developed state reachability tree that verifies and confirms the reachability and finality of each of the states of the developed model, preventing the emergence of dangerous closed-loop situations or scenarios, which presence makes it impossible for further functioning of the model and reaching the final completion state of its operating. In conclusion, the developed model is fully approbated on the example of solving a specific practical applied task of monitoring the polyfactor dynamics of a separate given subject in the process of balancing of the investigated multisubject support environment.

Keywords: software product; comprehensive support; support environment; balancing.