

Кожен з вищезазначених модулів виконує свою специфічну роль та співпрацює один з одним за допомогою спільних контрактів. Це створює повноцінну систему, яка відповідає за роботу з кількісними показниками введеними або завантаженими користувачем.

**Висновки.** На сьогодні не існує програмного забезпечення на ринку інформаційних технологій України, яке б поєднувало в собі взаємодію з інформаційними системами податкової служби, державної фіскальної служби та інформаційними системами інших служб, з якими контактує підприємство, а також, програмного забезпечення, яке б допомагало в формуванні звітності в залежності від обраної форми та типу звіту, в спрощенні документообігу і комунікації між відділами підприємства, у визначенні та валідування вхідних даних, в створенні автоматичних підказок та автозаповнення даних та гарантувало б безпечну передачу та зберігання даних.

У рамках дисертаційного дослідження розроблено та частково впроваджено інформаційну технологію на основі групи мікросервісів ІАС для оцінювання рівня ризику банкрутства підприємства, що відповідають за роботу з кількісними даними, визначено її призначення для діяльності підприємства та також являється частиною інформаційної технології, яка б задовольнила вищезазначені потреби. Наведено хід розробки групи мікросервісів ІАС та принцип розробки статистичного апарату.

### Список використаних джерел

1. Триус Ю. В., Сіньковський А. П., Новосад О. О., Гавриленко В. О. Інформаційно-аналітична система оцінювання рівня ризику банкрутства підприємства. *Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (ІТОНТ-2020): тези доп. V Міжнар. наук.-практ. конф.*, (Черкаси, 21–23 трав. 2020 р.) Черкаси: ЧДТУ, 2020. С. 52–55.
2. Зайченко Ю. П. Нечёткие модели и методы в интеллектуальных системах. Киев: Издательский Дом «Слово», 2008. 344 с.
3. Spring for Apache Kafka / G. Russell, A. Bilan, B. Kunjummen et al. URL: <https://docs.spring.io/spring-kafka/reference/pdf/spring-kafka-reference.pdf> (дата звернення: 28.05.2022).
4. Ben Stopford Designing Event-Driven Systems Concepts and Patterns for Streaming Services with Apache Kafka. First ed., 2018. 151 p.
5. Soren Lauesen. User Interface Design A Software Engineering Perspective. URL: <https://www.itu.dk/~slauesen/UID/UIDpre.pdf> (дата звернення: 28.05.2022).
6. AsyncAPI Initiative AsyncAPI specification 2.0.0. URL: <https://www.asyncapi.com/docs/specifications/2.0.0> (дата звернення: 28.05.2022).
7. OpenAPI Initiative. OpenAPI Specification. URL: <https://swagger.io/specification> (дата звернення: 28.05.2022).
8. Farhan Hasin Chowdhury. The Docker Handbook. 2021 ed. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/the-docker-handbook> (дата звернення: 28.05.2022).
9. Lukša M. Kubernetes in Action, Second ed. 2020. 775 p.
10. Amazon Simple Storage Service (Amazon S3). URL: <https://softprom.com/ru/vendor/amazon-web-services/product/amazon-simple-storage-service-amazon-s3> (дата звернення: 27.05.2022).

## МЕТОД ЗГОРТКИ ГРАФОВИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

**Супруненко О. О., Гребенович Ю. Є.**

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна

**Анотація.** Мета дослідження полягає у зменшенні розмірності графової моделі програмного компонента без втрати елементів паралельних і конкуруючих процесів. Завдання роботи – систематизація варіантів конструкцій для рекомпозиції моделі програмної системи, формування правил інкапсуляції елементів моделі програмного компонента, що дозволить зберегти елементи, пов'язані з паралелізмом. Об'єктом дослідження є модель програмного забезпечення з суттєвим паралелізмом на основі мереж Петрі; предметом досліджень є ділянки моделі в місцях розгалужень та злиття паралельних потоків, також ділянки, на яких переплітаються паралельні потоки, цикли та

вершини контролю. Методи досліджень: компонентно-орієнтоване моделювання, теорія графів, матричний опис оцінних мереж Петрі. Результати досліджень полягають у формуванні методу згортки для зменшення розмірності моделей програмних компонентів, що дозволяє дотриматись обмежень по розмірності моделей ПЗ для їх аналізу методом інваріантів.

**Ключові слова:** модель програмного компонента, паралельні процеси, мережі Петрі, рекомпозиція моделі, метод згортки.

## CONVOLUTION METHOD OF GRAPH MODELS OF SOFTWARE COMPONENTS FOR ANALYSIS OF DYNAMIC PROPERTIES OF SOFTWARE SYSTEMS

**Suprunenko O., Grebenovych J.**

The Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Cherkasy, Ukraine

**Abstract.** The purpose of research is to decrease the dimension of the graph model of software component without losing elements of parallel and concurrent processes. This paper has the objective to systematize construction variants for the recomposition of the software model, to obtain the encapsulation rules of elements of the software component model which helps to save elements associated to the parallelism. The object of research is a software model with significant parallelism based on Petri nets; the subject of research is the areas of the model in the places of branching and merging of parallel flows, as well as areas where parallel flows, cycles and control vertices are intertwined. Methods of research are: component oriented modeling, graph theory, matrix description of Petri-nets. The results of the research are to form a convolution method to reduce the dimensionality of software component models, which allows to comply with the limitations on the dimensionality of software models for their analysis by the invariant method.

**Keywords:** software component model, parallel processes, Petri nets, recomposition of model, convolution method.

**Вступ.** При застосуванні комбінованого підходу [1] та інструментів на основі мереж Петрі (PN), для побудови і аналізу моделей з паралелізмом потрібно дотримуватись принципів побудови моделі, спрямовані на спрощення її формування та адаптації до візуально-асоціативного та інваріантного аналізу. При проведенні інваріантного аналізу [2] є обмеження розмірності задачі, що дозволяють розрахувати інваріанти за прийнятний час. Для прикладних задач вибирають обмежені PN (finite-capacity net), досліджують розв'язання проблем аналізу компонентних [3], вкладених [4] та інших обмежених [5] мереж Петрі.

**Мета роботи** – у формуванні методу згортки, який дозволяє провести інкапсуляцію елементів моделі програмного компонента, зберігаючи опис паралельних та конкуруючих процесів, чи змішаних конструкцій (паралельні потоки, цикли та вершини контролю).

**Постановка проблеми.** Для динамічного аналізу графових моделей суттєвим обмежуючим фактором є розмірність моделі, значне зростання розмірності при застосуванні методу інваріантів [2] приводить до експоненційного зростання часу на розрахунок інваріантів. Для розв'язання проблеми у редукованій моделі залишають лише елементи з паралельністю, конкуруючими процесами чи інші складні конструкції, пов'язані з паралелізмом.

**Розв'язання проблеми.** На 1-му етапі усі моделі компонентів аналізуються окремо, а вплив міжкомпонентних зв'язків та зовнішніх факторів налаштовується в управляючих векторах відповідних вершин. При успішному проходженні 1-го етапу відлагоджені моделі компонентів (субмоделі) збираються у загальну модель шляхом послідовного підключення субмоделей до часткової моделі системи, що викликає швидке зростання розмірності. Для проведення аналітичних досліджень часткової моделі необхідне зниження її розмірності, що досягається згорткою ділянок, які не мають критичних властивостей. Але можливості згортки не обмежуються задачею покриття структури більш простими модифікаціями мереж Петрі, для яких доведені бездефектні властивості. Метод згортки має ряд правил, за якими проводиться згортка ділянок часткової моделі для зменшення її розмірності.

**Правило 1.** Ділянка субмоделі, що має одну вхідну й одну вихідну вершини місць і не має зв'язків від внутрішніх вершин, згортається в одну вершину місця. Правило також застосовується до ділянок суміжних субмоделей з такими ж обмеженнями. При встановленні додаткових зв'язків з іншими елементами моделі розглядають варіанти їх зв'язку з вершиною згортки через відповідну вершину переходу, наприклад, через  $t_2$  на рисунку 1, *b*.

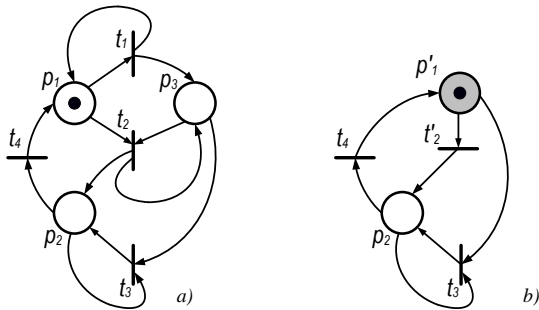


Рисунок 1 – Приклад згортки слабо зв'язаних елементів субмоделі

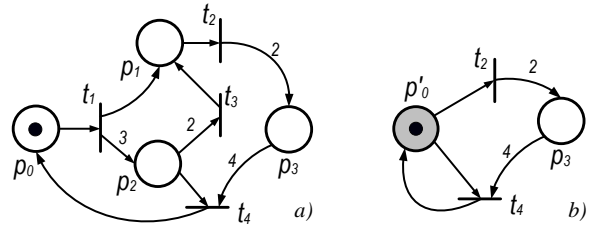


Рисунок 2 – Приклад згортки циклічних конструкцій у вершину місця

**Правило 2.** Всі ділянки субмоделі, покриті автоматними та маркованими PN, згортаються у вершину місця. Якщо ділянка обмежується вершинами переходів, вона згортається у вершину місця, яка їй передуює; при її переобтяженні налаштуваннями – у вихідну вершину місця цієї ділянки.

**Правило 3.** При згортці конструкцій типу «критичного розділу» група пов'язаних елементів згортається у вершину переходу, що має елементи моделі між вершинами  $t_v - t_E$ .

**Правило 4.** При виділенні довільних циклічних конструкцій, вони згортаються у пару вершин  $\eta(p_{st}, t_{end})$ , у яких за потреби встановлюються значення в управляючих векторах. Якщо є вихідна вершина переходу до згорнутої (місця), у якій не змінюється кількість та вага вхідних та вихідних дуг, згортка відбувається у вершину місця. Так, при виокремленні довільних циклів згортка відбувається у пару вершин (рисунку 1)  $p'_1$  та  $t'_2$ . Вершина переходу  $t'_2$  додана як зв'язка для дотримання правил PN. Але є винятки – при згортці конструкції (рисунку 2, *a*) у вершину місця  $p'_0$  (рисунку 2, *b*) потреби у додаванні вершини переходу не виникло, роль зв'язуючої залишилась за  $t_4$ .

**Правило 5.** Якщо у субмоделі виділяється розгалужена ділянка сильно зв'язаних елементів, обмежена вершинами переходів, вона згортається до вершини переходу, якщо така ділянка обмежена вершинами місць, вона згортається до вершини місця чи до  $\eta(p_{st}, t_z, p_{end})$  для встановлення характеристик (наприклад, часових).

**Правило 6.** Якщо виділена ділянка сильно зв'язаних елементів починається від вершини місця і закінчується вершиною переходу, то вони згортаються у пару  $\eta(p_{st}, t_{end})$  і перевіряється налагодження управляючого вектора у  $t_{end}$ . Якщо ділянка починається від вершини переходу і закінчується у вершині місця, згортка відбувається у пару  $\eta(t_{st}, p_{end})$  і характеристики кінцевої вершини місця потребують перевірки на обмеженість.

**Правило 7.** Конструкції, які відповідають патернам першої підгрупи другої групи [6], можуть бути згорнуті у конструкцію типу  $\eta(p_{st}, t_z, p_{end})$  з налагодженням управляючого вектора для  $t_z$ .

Визначаємо, чи відокремлені ділянки перетинаються, якщо так, то згортаємо ту з них, яка має більше число вершин. За правилами згортки класифікуємо виділені ділянки та вибираємо тип конструкції для згортки кожної з них. Згортку проводимо послідовно з кожною з виділених ділянок. Якщо певна ділянка перетинається з іншою, але має меншу кількість вершин, то вона не згортається, але може розглядатись на наступному кроці згортки.

**Висновки.** Таким чином, при збиранні субмоделей у часткову модель ПЗ проводиться їх рекомпозиція з використанням методу згортки, що приводить до зменшення розмірності моделі. Пропонований метод дозволяє згорнути не лише ділянки моделі, що покриваються більш простими модифікаціями мереж Петрі, для яких доведені бездефектні властивості. Правила, визначені у методі згортки, дозволяють згорнути і складні конструкції, в яких переплітаються паралельні потоки, цикли та вершини контролю.

При практичному застосуванні методу зменшення розмірності досягає 30%, що значно спрощує імітаційне дослідження та аналіз динамічних властивостей побудованих моделей. Разом з тим всі суттєві конструкції, пов'язані з паралелізмом чи конкуруючими процесами залишаються у моделях програмних компонентів і дозволяють аналітичними методами проводити виявлення явних та прихованих помилок у частковій моделі та моделі програмної системи в цілому.

### Список використаних джерел

1. Suprunenko O. Combined approach architecture development to simulation modeling of systems with parallelism. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 4. No. 4 (112). P. 74–82. doi: 10.15587/1729-4061.2021.239212.
2. Гломодза Д. К. Застосування методу інваріантів до аналізу кольорових мереж Петрі із дедлоками. *Вісник НТУУ КПІ. Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2016. № 64. С. 38–46.
3. Genovese F. R. The Essence of Petri Net Gluings. URL: [https://www.researchgate.net/publication/335712908\\_The\\_Essence\\_of\\_Petri\\_Net\\_Gluings](https://www.researchgate.net/publication/335712908_The_Essence_of_Petri_Net_Gluings) (accessed 27.11.2021).
4. Ломазова И. А. Вложенные сети Петри: моделирование и анализ распределённых систем с объектной структурой. Москва: Научный мир, 2004. 208 с.
5. Jensen K., Rozenberg G. High-Level Petri Nets: Theory and Application. Springer Science & Business Media, 2012. 724 p.
6. Супруненко О. О., Гребенович Ю. Є. Інструментальні засоби компонентно-орієнтованого моделювання програмних систем та PN-патерни: монографія. Черкаси: Видавець Чабаненко Ю.А., 2022. 82 с.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ПАРАЛЕЛІЗМОМ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МОДЕЛІ МІКРОСЕРВІСУ

Супруненко О. О., Онищенко Б. О., Недоноско П. М.

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна

**Анотація.** Мета дослідження полягає у доведенні ефективності застосування комбінованого підходу до імітаційного моделювання ПЗ з паралелізмом на прикладі програмного мікросервісу. Завдання роботи – побудова імітаційної моделі мікросервісу та її аналіз, виявлення недоліків у функціонуванні мікросервісу, формування проектних рішень без функціональних недоліків. Об'єктом дослідження є імітаційна модель мікросервісу з паралелізмом; предметом дослідження є функціональні недоліки та варіанти їх усунення. Методи досліджень: компонентно-орієнтоване моделювання, мережі Петрі, комбінований підхід до імітаційного моделювання програмних засобів з паралелізмом. Результати досліджень полягають у застосуванні комбінованого підходу до імітаційного моделювання ПЗ з паралелізмом для визначення динамічних властивостей моделі мікросервісу, що дозволяють виявити функціональні недоліки у моделі, побудувати проектні рішення для їх усунення, перевірити динамічні властивості запропонованих рішень.

**Ключові слова:** мережі Петрі, імітаційна модель мікросервісу, комбінований підхід до імітаційного моделювання ПЗ з паралелізмом, функціональні недоліки, динамічні властивості.