

Об'єктно-орієнтовані мережі Петрі та можливості їх аналізу формальними методами

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.035>

Олексій Весельський
Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького
м. Черкаси, Україна
veselskyi.oleksii1118@vu.cdu.edu.ua

Анотація — В роботі обґрунтована актуальність застосування візуально-аналітичного моделювання для перевірки коректності функціонування програмних систем та мереж Петрі (PN), як одного з методів такого моделювання. Описана об'єктно-орієнтована інтерпретація мереж Петрі (OOPN) та проаналізовані наукові роботи, що пропонують реалізації об'єктно-орієнтованих PN. Поставлена проблема відсутності формальних методів аналізу, адаптованих до OOPN.

Ключові слова — моделювання програмної системи, мережа Петрі, PN-модель програмної системи, об'єктно-орієнтована мережа Петрі

I. ВСТУП

Розробка програмного забезпечення є складним комплексним процесом, в ході якого можливе виникнення непередбачуваних труднощів. Однією з можливих відповідей на ці труднощі є моделювання програмної системи на етапі проектування. Моделювання дозволяє зарані перевірити побудований проект програмного засобу на правильність і відповідність специфікації, зокрема перевірити коректність роботи спроектованих алгоритмів та їх інтеграцію в систему. Завдяки такій перевірці можна своєчасно виявити потенційні недоліки, що можуть спричинити некоректну поведінку системи [1]. Це дозволяє уникнути додаткових витрат часу та фінансів на виправлення таких помилок під час або після етапу розробки.

Неухильне зростання складності нових розроблюваних програмних систем тільки збільшує важливість використання моделювання. Зокрема, багато сучасних систем складаються з великої кількості паралельних конкуруючих процесів [2]. Такий паралелізм створює підґрунтя для виникнення непередбачуваних сценаріїв функціонування програмного забезпечення (ПЗ) та прихованих помилок, які складно виявити без застосування методів моделювання.

II. МЕРЕЖІ ПЕТРІ

Одним з методів моделювання, які дозволяють вирішувати названі проблеми, є мережі Петрі. Вони належать до парадигми динамічного моделювання та мають чіткий математичний опис. Це дозволяє

досліджувати динамічні властивості моделі, побудованої на мережах Петрі, наприклад, за допомогою інваріантного аналізу. Таке дослідження дає змогу виявляти наявні в системі приховані помилки. [2]

Мережі Петрі поділяються на різні класи (інтерпретації) [3]. Серед них є базові, такі як безпечні або оціночні мережі Петрі, та прикладні, такі як кольорові мережі Петрі. Необхідність створення більш складних прикладних інтерпретацій зумовлена виникненням задач, з якими класичні мережі Петрі не здатні впоратися достатньо якісно, зокрема вже згадане зростання складності програмних систем. Відмінною властивістю, наприклад, кольорових мереж Петрі є те, що мітки можуть мати різні кольори, кожен з яких відображає різні значення [4]. Це дозволяє зручніше та точніше моделювати складні системи, по яких циркулює різна інформація.

Ще одним варіантом прикладної інтерпретації мереж Петрі є їх поєднання з парадигмою об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). Оскільки сьогодні ООП широко використовують в розробці ПЗ, то об'єктно-орієнтовані мережі Петрі безумовно можуть бути корисними для моделювання такого ПЗ.

III. ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНІ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ PN

Різні науковці неодноразово пропонували ідеї поєднання ООП та мереж Петрі, наприклад [5], [6], [7], [8].

В [5] автори пропонують концепцію об'єктно-орієнтованих мереж Петрі, яка передбачає моделювання об'єктно-орієнтованої програмної системи шляхом побудови для кожного об'єкту та методу системи відповідно мереж об'єктів і мереж методів. Зазначається, що ця інтерпретація мереж Петрі є формальним засобом моделювання, який дозволяє перевіряти коректність роботи системи як за допомогою симуляції, так і формальними методами. Втім, немає згадок про те, які саме методи формального аналізу можна застосувати та як це зробити.

В [8] пропонується інший підхід до побудови об'єктно-орієнтованих моделей на мережах Петрі.

Систему спершу моделюють в об'єктно-орієнтованій парадигмі, після чого трансформують в модель на кольорових мережах Петрі, відображаючи у вигляді мереж класи та об'єкти. Передбачені також механізми реалізації в моделі таких об'єктно-орієнтованих концепцій, як інкапсуляція та наслідування. Автори також згадують про можливість формальної перевірки таких моделей, зазначаючи, що об'єктно-орієнтовану мережу Петрі можна перетворити в кольорову мережу Петрі та проаналізувати її. Втім, жодних детальніших пояснень щодо такого перетворення немає.

В [6] запропоновано об'єктно-орієнтовані кольорові мережі Петрі. Це ще одна інтерпретація, основою якої є кольорові мережі Петрі, до яких автори додають об'єктно-орієнтовані компоненти. Систему пропонують ділити на елементи, кожен з яких представлений мережею Петрі і може комунікувати з іншими елементами. Стаття розглядає можливості застосування інваріантного аналізу до таких моделей, але досить коротко і обмежено. Зокрема, при побудові матриці інцидентності враховується лише наявність або відсутність дуги між вершинами (1 або 0). Тобто не врахована ні кількість міток, ні їх тип, що робить такий аналіз подібним до аналізу безпечних мереж Петрі і невиправдано спрощує модель, потенційно пропускаючи важливу інформацію.

В [7] автор пропонує так звані об'єктні мережі Петрі, мітками яких можуть бути інші мережі Петрі, які репрезентують об'єкти. Пропонуються різні способи взаємодії таких об'єктних мереж Петрі як між собою, так і з зовнішньою мережею, по якій вони рухаються. Така мережа називається системною. Ця інтерпретація мереж Петрі також дозволяє проводити об'єктно-орієнтоване моделювання, але автор не піднімає питання формального аналізу таких моделей.

IV. ВИСНОВКИ

Отже, бачимо що поєднання ООП та мереж Петрі є перспективним напрямком, про що свідчить велика кількість наукових праць, які пропонують

варіанти такого поєднання. Проте, одна з ключових переваг мереж Петрі – можливість формального аналізу моделей – зазвичай не отримує достатньої уваги в контексті об'єктно-орієнтованих інтерпретацій. Таким чином виникає потреба в адаптації формальних методів аналізу мереж Петрі, зокрема інваріантного аналізу, до об'єктно-орієнтованих мереж Петрі, що дозволило б будувати точні та детальні моделі програмних систем, які будуються за принципами ООП, і проводити якісну перевірку цих моделей на предмет наявності прихованих помилок.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Супруненко О.О. Комбінований підхід до імітаційного моделювання динаміки програмних систем на основі інтерпретацій мереж Петрі. KPI Science News. с. 43-53.
- [2] Супруненко О.О., Онищенко Б.О., Гребенович Ю.Є. Аналіз прихованих помилок у моделях програмних систем на основі мереж Петрі. Electronic Modeling. 2022. V. 44. № 2, с. 38-50.
- [3] Кузьмук В.В., Супруненко О.О. Средства описания информационных потоков в динамических моделях теоретических программно-аппаратных систем. ISJ Theoretical & Applied Science 07 (15): 11-18.
- [4] Wil M.P. van der Aalst, "Learning Colored Petri Nets Using Object-Centric Event Data (OCED2CPN)," 2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt), Agadir - Essaouira, Morocco, 2023, pp. 1-6
- [5] Radek Kočí, Vladimír Janoušek, and František Zbořil, jr., "Object Oriented Petri Nets — Modelling Techniques Case Study," 2008 Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation, Liverpool, UK, 2008, pp. 165-170
- [6] Yongyang Zhang, En'gao Peng, Zhenkun Luo, Lianghua Zeng, and Chun Li, "Bottleneck detection for discrete manufacturing system based on object-oriented colored petri nets and cloud simulation," ITM Web of Conferences. 45. 01015.
- [7] Rüdiger Valk, "Object Petri Nets -- Using the Nets-within-Nets Paradigm," Advances in Petri Nets: Lectures on Concurrency and Petri Nets, volume 3098 of Lecture Notes in Computer Science, pages 819-848. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2004.
- [8] H. Motameni, A. Movaghar, B. Shirazi, M. Aminzadeh and H. Samadi, "Analysis Software with an Object-Oriented Petri Net Model," World Applied Sciences Journal 3 (4): 565-576, 2008