змішаному просторі технічних та мовних ознак. Базові деревоподібні та ймовірнісні моделі, а також SVM із лінійним ядром поступилися ансамблям, особливо на малочисельному класі paid із низьким recall.

Практичне розв'язання проблем непрозорої монетизації дозволяє надійно розмежовувати справді безкоштовні застосунки (*free*) від *freemium* і *paid* та коректно маркувати їх на маркетплейсах. Рішення орієнтоване на інтеграцію у процеси модерації та забезпечення відповідності нормативним вимогам, щоб автоматично виявляти суперечності між заявленою моделлю й фактичною поведінкою застосунку, знижуючи ризики для користувачів і платформи.

Використані джерела:

1. Sanz B., Santos I., Laorden C., Ugarte-Pedrero X., Garcia Bringas P. On the automatic categorisation of Android applications // *2012 IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*. 2012. P. 149–153. DOI: 10.1109/CCNC.2012.6181075

2. Bhatt A. J., Gupta C., Mittal S. iABC-AL: Active learning-based privacy leaks threat detection for iOS applications. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*. 2021. T. 33, № 7. P. 769–786. https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.05.008

3. Pajouh, H.H., Dehghantanha, A., Khayami, R. et al. Intelligent OS X malware threat detection with code inspection. *Journal of Computer Virology and Hacking Techniques*, 14. 2018. P. 213–223. https://doi.org/10.1007/s11416-017-0307-5

4. Burgardt C. A. P. Malware detection in macOS using supervised learning : dissertation (Master's degree in Computer Science). Recife : Federal University of Pernambuco, 2022.

МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННИХ ПРОЦЕСІВ ТА УПРАВЛІННЯ СТАНОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕРЕЖ ПЕТРІ

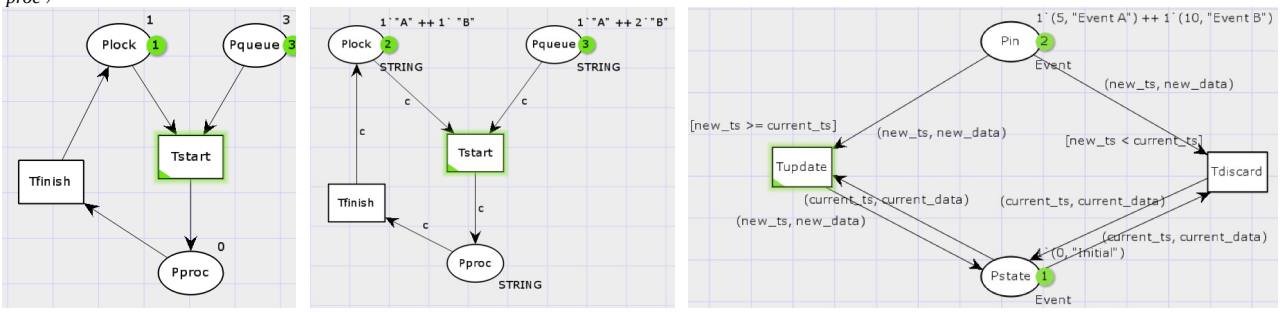
Давиденко А.М.
Національний університет «Києво-Могилянська академія»
04655, м. Київ, вулиця Григорія Сковороди, 2, НаУКМА, Факультет інформатики,
andrii.davydenko@ukma.edu.ua

This work explores the formal modeling of asynchronous systems, using classic Place/Transition (P/T) nets and data-driven Coloured Petri Nets (CPNs). Formal models are presented for three distinct processing patterns: a P/T net for a simple mutual exclusion queue, a CPN for context-based concurrent processing, and a CPN for timestamp-based state management.

Моделювання сучасних інформаційних систем, особливо асинхронних та розподілених, вимагає формалізмів, здатних адекватно описувати паралелізм та керовану даними логіку [4, 5]. У цій роботі демонструється застосування мереж Місць/Переходів (М/П) та Кольорових мереж Петрі (КМП) для моделювання попередньо визначених трьох класів розподілених систем [1].

Другий клас розподілених систем моделюється класичною мережею М/П [3]. Ця система моделює просту чергу, де вхідні повідомлення обробляються послідовно. "Маркер-замок" гарантує, що в кожний момент часу може оброблятися лише одне повідомлення (рис. 1, зліва). Мережа М/П визначається як кортеж $N=(P,T,W,M_0)$. Множина місць $P=\{p_{queue},p_{lock},p_{proc}\}$, де p_{queue} – буфер необроблених повідомлень, p_{lock} – доступність обробника (м'ютекс), p_{proc} – стан активного оброблення повідомлення. Множина переходів $T=\{t_{start},t_{finish}\}$, де t_{start} – подія початку оброблення повідомлення, t_{finish} – подія завершення оброблення повідомлення. Вагова функція дуг $W:(P\times T)\cup(T\times P)\to N$ визначає їх кратність. $W(p_{queue},t_{start})=W(p_{lock},t_{start})=W(t_{start},p_{proc})=¿$ $W(p_{proc},t_{finish})=¿$ $W(t_{finish},p_{lock})=1$, $W(a,b)=0$ для всіх інших пар (a,b). Початкове маркування $M_0:P\to N$ визначає початковий стан мережі. $M_0(p_{queue})=k$, де $k\geq 0$ – початкова кількість повідомлень. $M_0(p_{lock})=1$, $M_0(p_{proc})=0$.

Третій клас являє собою чергу оброблення на основі контексту, яка моделюється кольоровою мережею Петрі (КМП). Це модель системи, де повідомлення з різними контекстами можуть оброблятися паралельно, але повідомлення з однаковим контекстом обробляються послідовно (рис. 1, по центру). Кольорова мережа Петрі визначається як кортеж $CPN=(\Sigma, P, T, C, G, E, I)$[2]. Набори кольорів (Σ) – множина типів даних, що використовуються в мережі. $CTX=S$ (множина всіх рядків, що представляють контексти повідомлень), $\Sigma=\{CTX\}$. Множина місць $P=\{p_{queue}, p_{lock}, p_{proc}\}$. Множина переходів $T=\{t_{start}, t_{finish}\}$. Функція наборів кольорів $C: P \to \Sigma$, що відображає кожне місце у його тип (колір). $C(p_{queue})=C(p_{lock})=C(p_{proc})=CTX$. Функція охоронних умов $G: T \to Expr$, що відображає переходи у булеві вирази. У цій моделі всі умови тривіальні: $G(t_{start})=G(t_{finish})=true$. Функція виразів дуг $E: A \to Expr$ (де A – множина дуг), що визначає мультимножини маркерів для переміщення. Оголосимо змінну $var\ c: CTX$, тоді $E(p_{queue}, t_{start})=E(p_{lock}, t_{start})=E(t_{start}, p_{proc})=E(p_{proc}, t_{finish})=E(t_{finish}, p_{lock})=1`c$. Правило спрацювання вимагає, щоб перехід $t_{start}$ знайшов таке прив'язування (binding) для $c$, яке одночасно задовольняє обидві вхідні дуги. Початкове маркування задається функцією ініціалізації $I: P \to CTX_{MS}$,де $CTX_{MS}$ – множина мультимножин над $CTX$. $I(p_{queue})=\sum_i 1`ctx_i$(довільна мультимножина k контекстів повідомлень). $I(p_{lock})=\sum_{j \in CTX_{active}} 1`ctx_j$(один "маркер-замок" для кожного можливого активного контексту). $I(p_{proc})=\varnothing$.



1 *2* *3*

Рис. 1. Моделі мереж Петрі: *1* – модель М/П для послідовного оброблення; *2* – модель КМП для послідовного оброблення в рамках контексту; *3* – модель КМП для збереження найновішого стану

Перший клас моделюється КМП, що представляє монітор стану, де стан системи визначається подією (дані та часова мітка) з найновішою часовою міткою (рис. 1, справа). Вхідні події з більш ранніми часовими мітками відкидаються. Набори кольорів (Σ): $TS=N$ (множина натуральних чисел для часових міток), $Data=S$ (множина рядків для даних події), $Event=TS \times Data$, $\Sigma=\{TS, Data, Event\}$. Місця $P=\{p_{\square}, p_{state}\}$, де $p_{\square}$ – черга вхідних, ще не оброблених подій, аp_{state} – поточний стан системи, що містить рівно один маркер події. Множина переходів $T=\{t_{update}, t_{discard}\}$, де t_{update} – подія заміни поточного стану новішою подією, t_{finish} – подія відкидання старої вхідної події. Функція наборів кольорів $C(p_{\square})=C(p_{state})=Event$. Для визначення охоронних умов спочатку оголосимо змінні, що використовуються у виразах дуг та охоронних умовах: $var\ new_{ts}, curr_{ts}: TS;\ var\ new_{data}, curr_{data}: Data;$ Охоронні умови визначають ключову логіку моделі: $G(t_{update})=[new_{ts} \geq curr_{ts}]$, $G(t_{discard})=[new_{ts} < curr_{ts}]$. Функція виразів дуг $E(p_{\square}, t_{update})=E(p_{state}, t_{update})=E(t_{update}, p_{state})=E(p_{\square}, t_{discard})=E(p_{state}, t_{discard})=E(t_{discard}, p_{state})=1`(new_{ts},$ . Початкове маркування $I(p_{\square})=¿\ \sum_{i=1}^{k} 1`(ts_i, dat\ a_i)$, (довільна мультимножина k вхідних подій). $I(p_{state})=1`(0,\ Initial\ )$ – › маркер з найменшою можливою часовою міткою, що гарантує оновлення при першій реальній події.

Висновки

Аналіз моделей показує, що мережі Петрі дозволяють змоделювати різні класи розподілених систем. М/П мережі ефективні для моделювання простого управління ресурсами та взаємного виключення, проте для логіки, залежної від даних, необхідна виразність КМП.

Подальша робота може включати верифікацію властивостей цих моделей (наприклад, обмеженості, життєздатності та досяжності).

Список літератури

1. Давиденко А. Забезпечення порядку оброблення повідомлень у розподілених системах. *Наукові записки НаУКМА*. 2025. Т. 7 : Комп'ютерні науки. С. 58–62. URL: https://doi.org/10.18523/2617-3808.2024.7.58-62.
2. Kristensen L. M., Jensen K. Coloured Petri Nets: Modeling and Validation of Concurrent Systems. Springer Berlin / Heidelberg, 2009. 384 p.
3. Murata T. Petri nets: Properties, analysis and applications. *Proceedings of the IEEE*. 1989. Vol. 77, no. 4. P. 541–580. URL: https://doi.org/10.1109/5.24143 (date of access: 30.10.2025).
4. Peterson J. L. Petri Net Theory and the Modeling of Systems. Englewood Cliffs, N.J : Prentice-Hall, 1981. 290 p.
5. Reisig W. Understanding Petri Nets: Modeling Techniques, Analysis Methods, Case Studies. Springer, 2013. 260 p.