

УДК: 004.056.5:004.021

*Хавер Анюта Вячеславівна, аспірант,
Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій*

КОЛЬОРОВІ СІТКИ ПЕТРІ ЯК МАТЕМАТИЧНИЙ ЗАСІБ МОДЕЛЮВАННЯ КІБЕРАТАК В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Кольорові сітки Петрі належать до розділу дискретної математики та поєднують елементи кількох її підрозділів. Вони є формальною моделлю дискретних подійно-орієнтованих систем, що ґрунтується на апараті орієнтованих графів. Незважаючи на наявність широкого спектра графових інструментів – алгоритмів пошуку шляхів (алгоритм Дейкстри), Марківських ланцюгів, Байєсівських мереж, класичних графів станів – жоден з них не забезпечує достатнього рівня деталізації, не враховує неоднорідності вузлів, формальності та динамічності для моделювання складних кібератак у середовищі технологічних систем промислових об'єктів критичної інфраструктури (ПОКІ). Кольорові сітки Петрі є найбільш придатним інструментом для вирішення завдання імітаційно-аналітичного моделювання кібератак, оскільки дозволяють одночасно відображати стани та властивості вузлів, моделювати паралельні процеси (зокрема поширення ШПЗ), визначати логічні умови переходів, а також формально аналізувати поведінку системи. Крім того, стохастичні моделі (Марківські ланцюги, Байєсівські мережі) моделюють переважно ймовірнісний аспект процесу, але не дозволяють явно враховувати структурно-логічні зв'язки, умовні переходи, паралельність та ресурсні характеристики кібератак, в той час як кольорові сітки Петрі забезпечують повноцінне імітаційно-аналітичне моделювання всього досліджуваного процесу кібератаки.

Основними елементами кольорової сітки Петрі є 9-ти кортеж:

$$CPN = (P, T, A, \Sigma, V, C, G, E, I) \quad (1)$$

де: P – множина місць; T – множина переходів; A – множина дуг; Σ – кольорові множини (типи); V – змінні; C – функція типів місць; G – guard- вирази; E – вирази дуг; I – початкове маркування.

Спрощений графічний приклад кольорової сітки Петрі, яка відображає реагування Safety instrumented system (SIS) на фіксацію небезпечного стану сенсором в технологічній системі ПОКІ наведено на Рис.1.1. Така модель відтворює стандартну структуру Safety Instrumented Function (SIF) згідно IEC 61508/IEC 61511: сенсор → логічний вирішувач (PLC SIS) → актуатор.

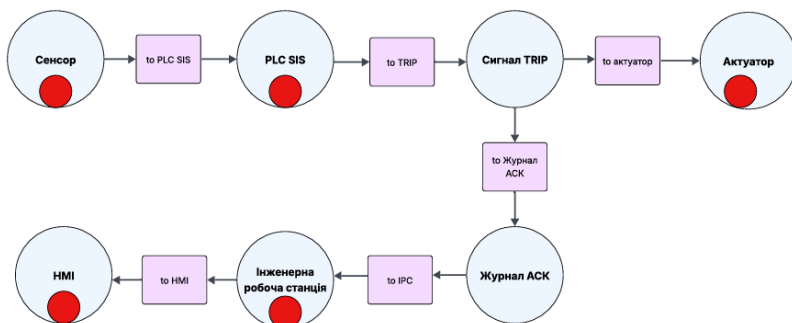


Рисунок 1 – Спрощений графічний приклад кольорової сітки Петрі, яка відображає реагування SIS на фіксацію небезпечного стану сенсором

Практичне використання вищезазначеного імітаційно-аналітичного математичного підходу з використанням кольорових сіток Петрі дозволяє розрахувати кількість вузлів (місць) та дає змогу розрахунку ресурсів (людських, часових, фінансових) для реалізації тої чи тої тактики проведення кібератаки суб'єктом кіберзагрози (сформувати так званий інтегральний “ресурсний профіль” кібератаки). Разом з тим, змодельовану кольорову сітку Петрі можна використати для побудови інтерактивного програмного прототипу в середовищі ПЗ “CPN Tools”. Підхід може використовуватися підрозділами Cyber Threat Intelligence ПОКІ для моделювання потенційних кібератак та їх обґрунтування у моделі загроз (кіберзагроз) технологічної систем. Результати такого імітаційно-аналітичного моделювання можуть використовуватися для прийняття рішень щодо пріоритетизації кіберзахисту в технологічній системі та створення стратегії кіберзахисту на коротку (для нейтралізації загроз від тактик з найменшими ресурсними затратами для суб'єкта кіберзагрози) та довгу перспективу (для нейтралізації загроз від тактик найбільш ресурсовитратних для суб'єкта кіберзагрози).

Список використаних джерел:

1. Kurt Jensen, Lars M. Kristensen “Coloured Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems”, 2009 p., P. 1-56.;
2. Савченко В.А., Хавер А.В. “Оцінка впливу програмних інструментів на основі технологій штучного інтелекту на ресурсну ефективність щодо проведення деструктивних кібероперацій по відношенню до об'єктів критичної інфраструктури”, Сучасний захист інформації № 3, ДУІКТ, м. Київ, 2025 р. URL: <https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/3317>.