

*Я.І. Соколовський д. т. н., проф., (Національний лісотехнічний університет України)
В.М. Фірман, к. т. н., доц., (Львівський юридичний університет МВС)*

ВИКОРИСТАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Наведені підходи до моделювання та аналізу складних систем, що ґрунтуються на використанні теорії мереж Петрі та їх розширень. Розглядаються мережі Петрі високого рівня, а також використання вкладених мереж Петрі для моделювання розподілених систем

Сучасні складні системи, до яких, в першу чергу, слід віднести гнучкі виробничі системи, інформаційно-управляючі та інформаційно-аналітичні системи різноманітного призначення характеризуються синхронною та асинхронною паралельно-последовною взаємодією дискретних процесів. Моделювання таких систем будується на даних, які описують логічний зв'язок у системах і формулюються у термінах "умова-дія".

Серед існуючих методів моделювання та аналізу таких систем найбільшого поширення набули методи, які ґрунтуються на використанні таких моделей: масового обслуговування [9]; узагальнених теоретико-множинних моделей [1]; стохастичних моделей; нечітких моделей [5, 7]; моделей паралельних обчислень [8]; нейронних мереж; моделей, що ґрунтуються на теорії мереж Петрі та їх розширеннях [6,8].

Незважаючи на широке дослідження моделей масового обслуговування та узагальнених теоретико-множинних моделей, ефективність їх застосування обмежена, що пов'язане з необхідністю моделювання та аналізу паралельних дій в системах. В свою чергу моделі стохастичних моделей та нечітких моделей розглядають лише окремі сторони функціонування систем і в реальних системах моделювання можуть бути використані як складова частина інших моделей. Моделі паралельних обчислень мають здебільшого обмежене застосування і в більшості випадків відповідні задачі легко вирішуються апаратом мереж Петрі [4,6].

Мережі Петрі, як показали дослідження, орієнтовані на моделювання та аналіз процесів, що характеризуються суттєвим паралелізмом та асинхронною взаємодією. Різноманітні розширення мереж Петрі набувають ряд додаткових переваг над існуючими методами, а також мають можливість моделювання та аналізу також стохастичних та нечітких процесів.

У даній роботі розглядаються використання сіток Петрі для моделювання сучасних систем управління, обробки інформації та підтримки прийняття рішень. Розглядаються звичайні і вкладені мережі Петрі, а також мережі Петрі високого рівня.

У мережах Петрі умови моделюються позиціями, а події переходами. Последовна реалізація подій у системі відображається у мережі у вигляді последовного виконання її переходів. Виконання будь-якої умови у системі пов'язане з появою мітки у відповідній умові позиції мережі. Діючі правила виконання переходів відображають логічні взаємозв'язки між умовами і подіями у модельованих системах.

Мережа Петрі [4] являє собою дводольний орієнтований граф $C = (P \cup T, E)$ із скінченною множиною вершин $P_i \cup T_j$, де $P_i \cap T_j = \emptyset$ і функцій ідентичності $E_n : (P_i \times T_j) \cup (T_j \times P_i) \rightarrow N$, які задають кратність дуг (N – множина натуральних чисел). Вершини із множини P_i називаються позиціями і характеризують локальний стан системи, а вершини із множини T_j називають переходами і задають дії або події. Отже, дуги (p_i, t_j) орієнтовані від позиції до переходів, а дуги (t_j, p_i) – від переходів до позицій. Графічні позиції сітки зображаються кружечками, переходи – прямокутниками, а орієнтовані дуги стрілками, що з'єднують деякі позиції і переходи.

Початковий стан мережі Петрі задається за допомогою маркування її позицій $M: P \rightarrow N$, яка відображає кожній позиції сітки деяке число маркерів. Присутність маркера у позиції трактується як виконання деякої умови. Спрацювання переходів міняє розмітку сітки у відповідності з правилами спрацювання переходів.

Отже, маркування мережі зручно представити у вигляді вектора

$$M = (M(p_i)), p_i = \overline{1, |P|}, M(p_i) = m_i \in N, \quad (1)$$

де m_i – число, що відображає позицію $p_i \in P$ при маркуванні.

Тобто, якщо $|P|$ – кількість вузлів у мережі Петрі, то кожному вузлу у мережі можна поставити у відповідність число із послідовності $1, 2, \dots, |P|$. Отже, розмітку M можна зобразити за допомогою вектора з $|P|$ елементів, у якому i -ий елемент визначає кількість маркерів в i -у вузлі. У загальному випадку кількість маркерів у вузлі може бути більшою за одиницю.

Перехід, у якому немає жодного вхідного вузла, завжди є збудженим і може видавати (генерувати) маркери. Генерування маркерів можна розглядати як послідовне виконання функції розмітки M , тобто послідовність зміни розміток M^0, M^1, M^2, \dots , де M^{t+1} отримується із M^t у результаті збудження деякого переходу. Перехід, який не має жодної вихідної дуги і має тільки одну вхідну дугу, є збудженим тільки в одному випадку, коли вхідний вузол містить маркер. Такий перехід може знищувати маркери.

Існують графічні та аналітичні способи задання мереж Петрі [4]. Мережа Петрі також може задаватися за допомогою двох матриць інцидентності Q і R . Кожна матриця має n стовпців (за числом вершин місць p_i) і k стрічок (за числом вершин переходів t_j). Елементами матриці є нулі та одиниці, які відображають значення відповідних елементів q_{ji} і r_{ji} .

$$Q|_{q_{j \in}} = \begin{vmatrix} q_{11} & q_{12} & \dots & q_{1n} \\ q_{21} & q_{22} & \dots & q_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{k1} & q_{k2} & \dots & q_{kn} \end{vmatrix}, \quad R|_{r_{j \in}} = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kn} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Елемент q_{ji} , який стоїть на перетині j -ї стрічки і i -го стовпця, дорівнює одиниці, якщо є дуга від вершини місця p_i до вершини переходу t_j і дорівнює нулеві у протилежному випадку. Елемент r_{ji} , який стоїть на переході j -ї стрічки і i -го стовпця, дорівнює одиниці, якщо є дуга від вершини переходу t_j до вершини місця p_i , і дорівнює нулеві, якщо у мережі Петрі дуга від t_j до p_i відсутня. Ці умови можна записати так:

$$q_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_i \in P'_j \vee t_j \in T^0_{p_i}; \\ 0, & \text{якщо } p_i \notin P'_j \wedge t_j \notin T^0_{p_i}; \end{cases} \quad r_{ji} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } p_i \in P^0_j \vee t_j \in T'_{p_i}; \\ 0, & \text{якщо } p_i \notin P^0_j \wedge t_j \notin T'_{p_i}. \end{cases} \quad (3)$$

Ішими словами, елемент q_{ji} в (3) дорівнює одиниці, якщо мережа Петрі містить дугу $(p_i, t_j) \in Q$. Відсутність такої дуги відображається у матриці Q нулем. Елемент r_{ji} в (2) дорівнює одиниці, якщо у PN є дуга $(t_j, p_i) \in R$ і нулеві у протилежному випадку.

Звичайні мережі Петрі зручно використовувати для моделювання та аналізу різних паралельних та розподілених систем. Однак процес моделювання реальних систем супроводжується великою розмірністю. Тоді застосовуються так звані мережі Петрі високого рівня [6], які характеризуються такими особливостями:

- маркування мережі задається за допомогою індивідуальних (різних між собою) маркерів;
- переходи можуть спрацювати у різних умовах, видаляючи маркери з одних позицій і додаючи їх в інші. Єдиним обмеженням є вимога локальності.

Для прикладу розглянемо мережу Петрі високого рівня, яка моделює роботу наукової лабораторії (рис. 1)

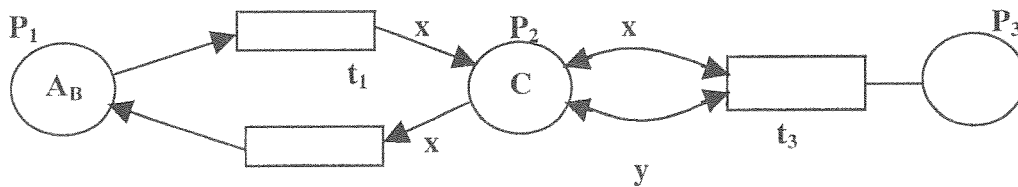


Рис. 1. Мережа Петрі високого рівня

Сітка складається з трьох позицій p_1, p_2, p_3 і трьох переходів t_1, t_2, t_3 . Кожна дуга із стрілками між вершинами p_3 і t_3 характеризує дві дуги: від p_3 до t_3 і від t_3 до p_3 . У цій мережі є три індивідуальні маркери А, В, С. Будь-який із учасників може знаходитися вдома або на роботі. Змінна x задає три режими спрацювання для кожного із переходів t_1 і t_2 . Отже, один перехід t_1 у даній мережі високого рівня характеризує три переходи – по одному для кожного з учасників А, В, С. У початковий момент А, В знаходяться вдома, а С – у лабораторії. Після спрацювання переходу t_1 (для $x = A$) А і С можуть знаходитися у лабораторії. Для модифікації даної мережі Петрі високого рівня може бути використано логічний вираз, у даному випадку $x \neq A$, для переходу t_2 .

Характерним прикладом мереж Петрі високого рівня являються розфарбовані мережі Йссена [6]. Розфарбовані мережі Петрі ґрунтуються на мовах з типами, які називаються кольорами.

В загальному, існує декілька типів розширень мереж Петрі, до яких, у першу чергу, слід віднести [6]:

- Розширення мереж Петрі шляхом введення понять області обмеження, тобто множини позицій $\{p_j\}$. Правила модифікуються таким чином, що перехід запущений тоді і тільки тоді, коли у результуючому маркуванні не всі позиції, що входять в область обмежень, одночасно марковані. Якщо, наприклад, (p_1, p_5) – область обмежень, то одна з позицій $p_1 \cup p_5$ не повинна мати маркера.
- Розширення, що обмежують умови запуску переходів. До них належать перехід “виключаючий АБО” [8], а також переходи, що дають моделювати логічні функції.
- Розширення, що використовують складні функціональні залежності маркування позицій $p_j \in P$ та запуску переходів $t_i \in T$.

Для відображення структури модельованої системи і наглядності моделювання використовують вкладені мережі Петрі. Згідно з [6], у вкладених мережах Петрі маркери у позиціях мережі самі можуть бути мережами Петрі. Вкладена мережа складається із системної мережі та елементарних мереж, які характеризують мережеві маркери.

Структуру вкладених мереж Петрі покажемо на попередньому прикладі. Зокрема, співробітника лабораторії моделюватимемо мережею Петрі (рис.2) з двома позиціями, які відповідають двом станам.

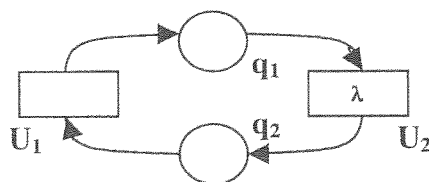


Рис. 2. Елементарна мережа

Ця мережа буде задавати елементарну мережу для вкладеної мережі Петрі. Переходи U_1 і U_2 задають переходи між станами. Системна мережа до вкладеної мережі практично є мережею високого рівня (рис. 1). Відмінність полягає у тому, що маркери p_1 і p_2 мережі

високого рівня являються складовим елементарної мережі з деяким маркуванням. Можливе початкове маркування вкладеної мережі схематично представлено на рис. 3.

Для опису правил спрацювання переходів у вкладеній мережі Петрі позначимо перехід U_2 в елементарній мережі і перехід p_3 у системній мережі відповідно маркерами λ і $\bar{\lambda}$. Вони є взаємодоповнювальними, тобто два переходи, які позначені такими маркерами можуть спрацювати одночасно. Якщо деякий перехід у системній або елементарній мережі не має спеціальних маркерів, то він може спрацювати автоматично і описується звичайними правилами для мереж високого рівня, а мережеві маркери розглядаються як звичайні маркери.

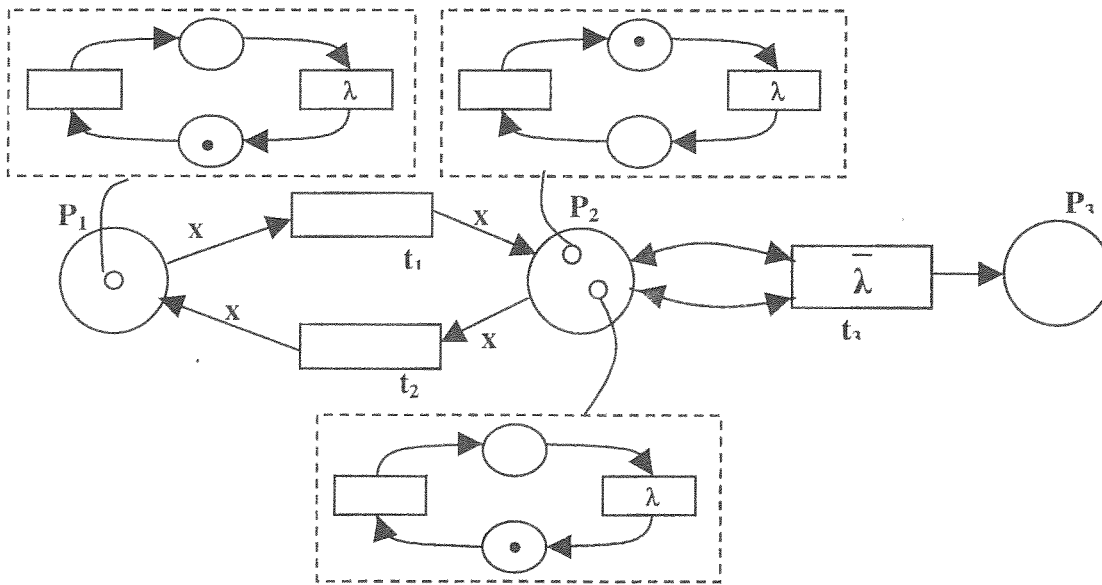


Рис. 3. Вкладена мережа сітки

Зазначимо, що у вкладених мережах можливий механізм синхронізації спрацювання переходів у системній та елементарній мережах. Для цього використовується перехід із спеціальним маркером $\bar{\lambda}$. Тобто, перехід t_3 у системній мережі може спрацювати тільки синхронно з переходами U_2 для двох станів елементарної мережі, задіяних у цьому спрацюванні. Отже перехід U_2 в елементарній мережі може спрацювати лише у випадку, коли у позиції p_2 є два мережеві маркери в активному стані. Синхронне спрацювання переходів t_3 і U_3 полягає в одночасній зміні маркерів системної мережі у відповідності з правилами спрацювання переходу t_3 і маркерів, задіяних у спрацюванні мережевих маркерів, пов'язаних з правилами спрацювання для U_2 . Тому у позиції p_3 з'являється чорний маркер.

Мережі Петрі та побудовані на них узагальнені моделі використовуються для проведення обчислювальних експериментів, пов'язаних з вивченням властивостей мереж. Результати цих експериментів мають значення встановлених фактів та інтерпретуються певним чином у термінах понять досліджуваної предметної області.

Високий рівень формалізації мереж Петрі дозволяє легко будувати на їх основі алгоритми та програми моделювання динамічних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Дмитриев А.К., Мальцев П.А., Основы теории построения и контроля сложных систем. – Л. Энергоатомиздат. 1988. - 192 с.
2. Дубровін В.І., Субботін С.О. Методи оптимізації та їх застосування в задачах навчання нейронних мереж. – Запоріжжя, 2003. – 136 с.

3. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечётных множествах. – К: МК – Прогресс, 2006. – 320 с.
4. Котов В.Е. Сети Петри – М.: Наука, 1984. – 196 с.
5. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радион связь, 1982 – 432с.
6. Ломазова И.А. Вложенные сети Петри и моделирование распределённых систем // Программные системы: Теория и приложения. – Наука, 2004.
7. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. – М. Из-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. - 338 с.
8. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. – М.: Мир. 1984. – 264 с.
9. Управление ГПС: Модели и алгоритмы / Под общей ред. С.В. Емельянова. – М.: Машиностроение, 1987. – 368 с.

УДК 004.38

В.М. Рудік, к. ю. н., В.В. Сенік, к. т. н., доц. (Львівський державний університет внутрішніх справ)

ВИКОРИСТАННЯ НОВІТНІХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В ДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІВ ВНУТРІШНІХ СПРАВ

Стаття присвячена актуальним проблемам пов'язаним зі створенням та впровадженням в діяльність органів внутрішніх справ інтегрованої інформаційно-пошукової системи, здатної об'єднати інформаційні ресурси не лише ОВС, а й інших правоохоронних та силових структур. Розкриті результати досліджень в даному напрямку, що проводяться, зокрема, і у Львівському державному університеті внутрішніх справ

Постановка проблеми. Для сучасної діяльності правоохоронних органів України характерною особливістю стало створення вузьковідомчих комп'ютерно-програмних комплексів, об'єднаних в ряді державних міністерств та установ у корпоративну відомчу мережу (центр – область – район) для пошуку і отримання різнопланової інформації оперативно-розшукового, довідкового, статистичного, законодавчо-процесуального та управлінського характеру.

Із розробкою все більшої кількості систем для підтримки всіх різновидів міліцейської діяльності, окремі міліцейські підрозділи на нижніх рівнях піддаються ризику функціональної ізоляції та непослідовності в справі інформаційної взаємодії з сусідніми підрозділами. Також загальним недоліком сучасного періоду в Україні є вузьковідомчий характер отримуваної інформації, практична відсутність можливості одержання та об'єднання у короткі терміни інформації з різних відомчих джерел, неможливість її комплексного отримання у реальному часі (так званий режим „On-Line”) з інформаційних баз даних силових та інших структур.

Аналіз досягнень і публікацій. На початок 2002 року в західних країнах, зокрема в Великобританії, вже були розроблені дослідні інформаційні технології, які дозволяли створювати сховища інформаційних баз даних або інформаційних банків об'єднаних баз даних для роботи у реальному масштабі часу. Ці об'єднані бази даних абсорбують