

УДК 004.65

Барабаш О. В., Лукова-Чуйко Н. В., Мусієнко А. П., Ільїн О. Ю.*Державний університет телекомунікацій, м. Київ***АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Проведено аналіз застосування мереж Петрі для підтримки функціональної стійкості інформаційних систем. Показано, що з використанням мереж Петрі можливо створити моделі, які дозволять зберегти функціональну стійкість інформаційної системи під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів, що базуються на описі структури інформаційної системи. Такі моделі дозволяють враховувати як особливості побудови інформаційної системи, так і динаміку процесів зміни її станів.

Ключові слова: функціональна стійкість, інформаційна система, мережі Петрі, дестабілізуючі фактори.

Barabash O. V., Lukova-Chuiko N. V., Musiienko A. P., Ilyin O. Yu.*State University of Telecommunications, Kyiv***ANALYSIS OF PETRI NETWORK APPLICATION FOR SUPPORT OF FUNCTIONAL SUSTAINABILITY OF INFORMATION SYSTEMS**

Functional stability of the information system – the property of the system to be in the able state to work, that is, to perform the necessary functions within the given interval of time or works in the conditions of refusals of component parts through external and internal factors. Indicators of functional stability characterize the result of its provision by redistributing of existing redundancy or resources in extraordinary situations. The key is that at the design stage no additional redundancy should be introduced, and the parrying of consequences of extraordinary situations is carried out by redistribution of already existing resources. The problem is to detect the redundancy already existing and generate signals at the right time at its redistribution. In this there is a fundamental difference between the task of providing functional stability and the task of constructing structurally excessive systems. The conducted analysis of Petri Networks lets conclude, that maintaining the functional stability of the information system under the influence of external and internal destabilizing factors is a complex of dynamic process which can be described by Petri Network. In this manner, with using of Petri Networks it is possible to create models, which let save the functional stability of the information system under the influence of external and internal destabilizing factors which based on the description of the structure of the information system. Such models allow taking into account both the features of the construction of the information system and the dynamics of processes the dynamics of processes of changing its states by functioning under conditions of influence of external and internal destabilizing factors.

Keywords: functional stability, information system, Petri networks, destabilizing factors.

Барабаш О. В., Лукова-Чуйко Н. В., Мусієнко А.П., Ільїн О.Ю.*Государственный университет телекоммуникаций., Г. Киев***АНАЛІЗ ПРИМЕНЕНИЯ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Проведен анализ применения сетей Петри для поддержания функциональной устойчивости информационных систем. Показано, что с использованием сетей Петри можно создать модели, которые позволят сохранить функциональную устойчивость информационной системы под влиянием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, основанные на описании структуры информационной системы. Такие модели позволяют учитывать как особенности построения информационной системы, так и динамику процессов изменения ее состояний.

Ключевые слова: функциональная устойчивость, информационная система, сети Петри, дестабилизирующие факторы.

© Барабаш О. В., Лукова-Чуйко Н. В., Мусієнко А. П., Ільїн О. Ю., 2018

1. Вступ

В наш час однією з основних функцій інформаційних систем (ІС) є забезпечення користувачам потенційної можливості доступу до ресурсів всіх комп'ютерів, об'єднаних в мережу. Всі інші вимоги – продуктивність, сумісність, керованість, захищеність, розширюваність і масштабованість – пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі. Дані мережі належить до класу складних організаційних систем і побудовані на основі технологій корпоративних обчислювальних мереж [1]. Ефективне функціонування підприємств в даний час багато в чому залежить від стійкості мережі до внутрішніх (відмови, збої, помилки) і зовнішніх (активний або пасивний вплив зовнішнього середовища) факторів. Якісно та безпечно організована ІС стає запорукою комерційного успіху всього підприємства [2].

Стрімке зростанням темпу розвитку інформаційних технологій та їх широке застосування у всіх сферах людської діяльності надало змогу суттєво збільшити продуктивність праці, проте, поклато початок такому виду злочинності, як інформаційна. Це явище становить суттєву загрозу для підприємств. Постійно з'являються нові шляхи несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації та порушення цілісності ІС.

Аналіз літературних джерел. Функціональна стійкість ІС – це її властивість перебувати в стані працездатності, тобто виконувати необхідні функції протягом заданого інтервалу часу або наробітки в умовах відмов складових частин через зовнішні і внутрішні фактори. Показники функціональної стійкості характеризують результат її забезпечення шляхом перерозподілу існуючої надмірності або ресурсів у позаштатних ситуаціях [3-6].

Дослідження показали, що функціональна стійкість ІС поєднує властивості надійності (безвідмовності), відмовостійкості і живучості. Функціональна стійкість розглядається, як властивість системи успішно завершити завдання при регламентованому числі змін в стані самої системи, тобто зберегти її працездатність після прояву припустимого числа відмов і зовнішніх збурювань [7].

Реалізація функціональної стійкості досягається за рахунок використання у складній технічній системі, до якої можна віднести ІС, різних уже існуючих видів надмірності (інформаційної, функціональної, структурної, часової, навантажувальної та ін.) шляхом перерозподілу ресурсів з метою парирування наслідків позаштатних ситуацій. Принциповим є те, що на етапі проектування не повинна вводитися додаткова надмірність, а парирування наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів. Проблема полягає у виявленні вже наявної надмірності та формуванні сигналів у потрібний момент на її перерозподіл [8]. У цьому є основна відмінність задачі забезпечення функціональної стійкості від задачі побудови структурно надмірних систем.

Вирішенню проблеми забезпечення функціональної стійкості складних технічних систем присвячено низку наукових праць О. А. Машкова, О. В. Барабаша, Ю. В. Кравченка, С. М. Неділька, Д. М. Обідіна та інших вчених. Однак широке їх використання в практичних задачах оцінки функціональної стійкості різних варіантів побудови інформаційних систем ускладнене за багатьох причин.

Постановка завдання в загальному вигляді. В проаналізованих роботах приділяється основна увага побудові систем діагностування на принципах функціонального та тестового діагностування постійних відмов. Але інтелектуальні системи, що мають в своєму складі обчислювальні системи, характеризуються впливом на них потоку відмов. При чому інтенсивність потоку збоїв та нестійких відмов не менше інтенсивності постійних відмов. Тому питання розробки моделей та методів діагностування, які базуються на застосуванні мереж Петрі для підтримки функціональної стійкості ІС під дією зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів на сьогоднішній день є актуальними.

2. Моделі функціонування ІС з використанням мереж Петрі

Першим кроком для побудови моделей функціонування ІС з використанням мереж Петрі є абстрагування від конкретних фізичних та функціональних особливостей її компонентів [9]. Сукупність дій, що виникає як реалізації подій при функціонуванні ІС, утворюють процес, що породжується цією системою.

Взаємодія подій в ІС має, як правило, складну динамічну структуру. При цьому глобальні ситуації в системі формуються за допомогою локальних операцій, що називаються умовами реалізації подій. Умова може мати таку ємність: умова не виконана (ємність дорівнює 0), умова виконана (ємність дорівнює 1), умова виконана з n -кратним запасом (ємність дорівнює n , де n – ціле додатне число). Певні поєднання умов дозволяють реалізовуватися деякій події (передумови подій), а реалізація подій змінює деякі умови (післяумови подій), тобто події взаємодіють з умовами, а умови з подіями. Тому для вирішення вказаного завдання достатньо представити ІС як структуру.

В мережах Петрі умови та події представлені абстрактними символами з двох алфавітів, що не перетинаються. Процес зміни станів ІС, що описаний мережею Петрі, представлений на рис. 1.

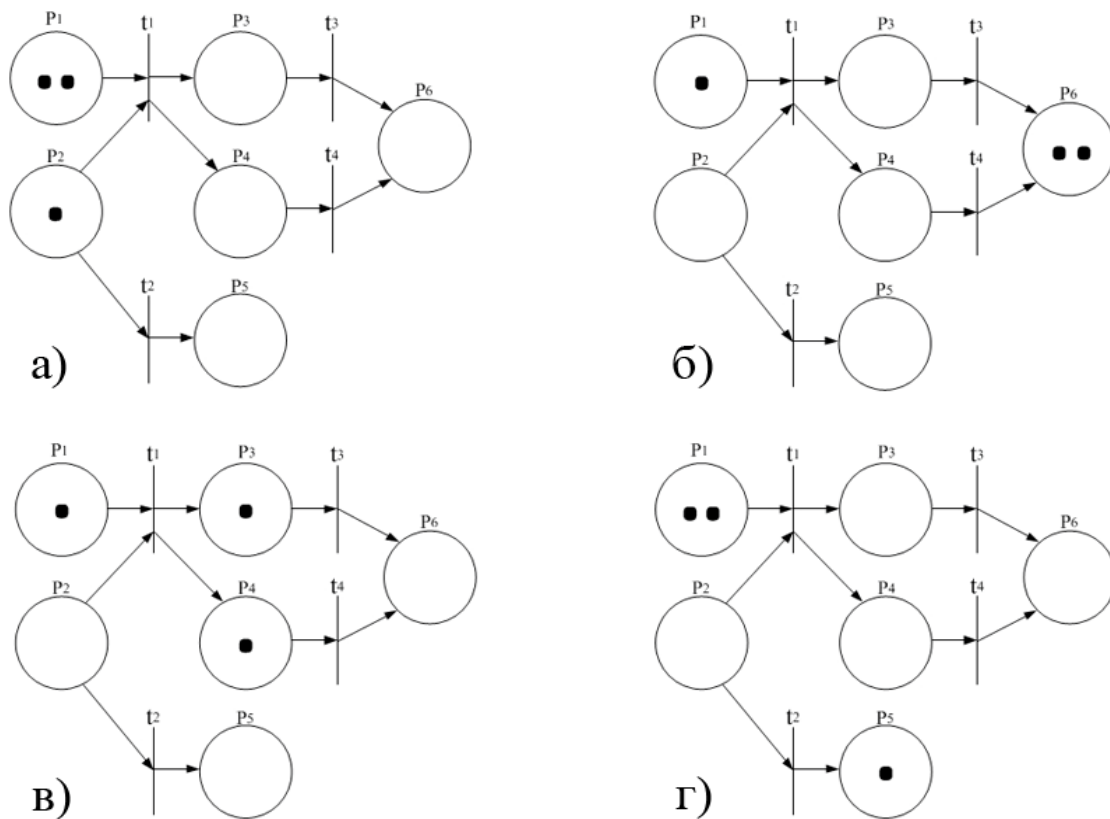


Рис. 1. Процес зміни станів ІС, що описаний мережею Петрі

Умови-місця та події-переходи пов'язані відношенням безпосередньої залежності (безпосереднім причинно-наслідковим зв'язком), що зображується за допомогою дуг, які ведуть з місць в переходи, а з переходів в місця. Місця, з яких ведуть дуги на даний перехід, називаються його вхідними місцями. Місця, на які ведуть дуги з даного переходу, називаються його вихідними місцями.

В мережі (рис. 1, а) показані стани ІС, що мають місце в процесі її функціонування. Місця p_1 та p_2 являються вхідними для переходу t_1 , а місця p_3 та p_4 – вихідними. В даному випадку подія-перехід t_1 безпосередньо залежить від місць-умов p_1 та p_2 , а місця p_3 і p_4

безпосередньо залежать від t_1 . В цій же мережі місце p_2 є вхідним одночасно для двох переходів t_1 та t_2 , місце p_6 є вихідним одночасно для двох переходів t_3 та t_4 .

Виконання умови відображається розміткою відповідного місця, а саме поміщенням n токенів (маркерів) в це місце, $n > 0$ – ємність умови. Динаміка поведінки ІС, що моделюється, знаходить своє відображення в функціонуванні мережі Петрі. Роботу мережі можливо представити як сукупність локальних дій, які називаються спрацюваннями переходів. Вони відповідають реалізаціям подій та призводять до зміни розмітки місць, тобто до локальної зміни умов в системі. Перехід може спрацювати тільки якщо виконані всі умови реалізації відповідної події. Спрацювання переходу – неподільна дія, що змінює розмітку його вхідних та вихідних місць наступним чином: з кожного вхідного місця забирається по одному токenu, а в кожне вихідне місце додається по одному токenu. Таким чином, реалізація події, що зображується переходом, змінює стан (ємність) безпосередньо пов'язаних з ним умов так, що ємність передумов, що викликали реалізацію цієї події, зменшується, а ємність післяумов, на які вона впливає, збільшується. Перехід t_1 на рис. 1,а може спрацювати, так як обидва його вхідні місця p_1 та p_2 містять токени, а після спрацювання t_1 , розмітка його вхідних та вихідних місць змінюється, як показано на рис. 1,б.

Якщо два чи більше переходи можуть спрацювати і вони не мають спільних вхідних місць, то їх спрацювання є незалежними діями, що реалізуються в будь-якій послідовності або паралельно. Якщо декілька переходів можуть спрацювати та мають спільне вхідне місце (як переходи t_1 і t_2 на рис. 1, а), то спрацює тільки один будь-який з них. При цьому можлива така ситуація, коли при спрацюванні одного переходу інші втрачуть можливість спрацювати (рис. 1, б, г). Таким чином в мережі моделюється конфлікт між подіями, коли реалізація однієї події виключає можливість реалізації інших, але ніяк не визначаються шляхи вирішення таких конфліктів. Вважається, що рішення, яка саме подія повинна реалізуватися, приймається повз формалізм мережі, тобто її поведінка носить недовизначений недетермінований характер. Аналогічний конфлікт може виникнути в випадку, коли декілька переходів можуть спрацювати і вони мають спільні вихідні місця, як переходи t_3 і t_4 (рис. 1, б, в).

В процесі функціонування мережі змінюється її розмітка як результат спрацювання переходів. Мережа зупиняється, якщо не один з переходів більше не може спрацювати (рис. 1, в, г). Така розмітка називається тупиковою. Мережа Петрі формалізує поняття абстрактної асинхронної системи – динамічної структури з подій та умов. Вона розглядається як один із засобів мережевого моделювання ІС. Якщо мережа Петрі описує функціональну схему ІС, що моделюється, то робота мережі моделює процес, що проходить при функціонуванні системи деякої історії процесу, яка ототожнюється з самим процесом. Недетермінований характер функціонування асинхронної машини і відповідної мережі Петрі призводить до того, що може породжуватися декілька процесів, що є паралельними.

Під мережею Петрі, що описує зміну станів ІС, розуміється набір $N = (P, T, F, W, M_0)$, де (P, T, F) – кінцева мережа (множина $X = P \cup T$ кінцева), а $W: F \rightarrow N$ та $M_0: P \rightarrow N$ – дві функції, що називаються відповідно кратністю дуг та початковою розміткою [10]. Перша ставить у відповідність кожній дузі число $n > 0$ (кратність дуги). Якщо $n = 1$ для кожної дуги, то така мережа називається ординарною. Друга функція ставить у відповідність кожному місцю деяке число $M_0(p) \in N$ (розмітка місця). В графічному представленні мережі розмітка місця p зображується розміщенням у вершині числа $M_0(p)$ або, якщо це число невелике, відповідного числа токенів.

Функціонування мережі Петрі описується формально за допомогою множини послідовних спрацювань і множини досяжних в мережі розміток. Ці поняття визначаються через правила спрацювання переходів мережі. Розмітка мережі N – це функція $M: P \rightarrow N$.

Якщо всі місця мережі N суворо упорядковані будь-яким чином, тобто $P = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, то розмітку M мережі (в тому числі початкову розмітку) можливо задати як вектор чисел $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ такий, що для будь-якого i $1 \leq i \leq n$, $m_i = M(p_i)$. Якщо $P' = (p_{i_1}, p_{i_2}, \dots, p_{i_k})$ – підмножина місць множини P , то множина розміток $M(P') = \{M(p_{i_1}), M(p_{i_2}), \dots, M(p_{i_k})\}$. На основі відношення інцидентності F та функції кратності дуг W можливо отримати функцію інцидентності $F : P \times T \cup T \times P \rightarrow N$, що визначається як

$$F(x, y) = \begin{cases} n, & \text{якщо } xFy \wedge (W(x, y) = n); \\ 0, & \text{якщо } \neg(xFy). \end{cases} \quad (1)$$

Якщо місця впорядковані, то можливо кожному переходу t поставити у відповідність два вектори $F(t) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, де $b_i = F(p_i, t)$, та $F'(t) = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, де $b_i = F(t, p_i)$. Перехід t може спрацювати при деякій розмітці M мережі N , якщо $\forall p \in t: M(p) \geq F(p, t)$, тобто кожне вхідне місце p переходу t має розмітку, не меншу, ніж кратність дуги, що з'єднує p і t . Для ординарної мережі Петрі умова спрацювання переходу означає, що будь-яке вхідне місце цього переходу містить хоча б один токен, тобто має ненульову розмітку.

Спрацювання переходу t змінює розмітку таким чином, що розмітка кожного його вхідного місця p зменшується на $F(p, t)$, тобто на кратність дуги, що з'єднує p і t , а розмітка кожного його вихідного місця збільшується на $F(t, p)$, тобто на кратність дуги, що з'єднує t і p . На множині розміток можливо показати відношення $[\rangle$ їх безпосереднього слідування:

$$M [\rangle M' \Leftrightarrow \exists t \in T : (M \geq F(t)) \wedge (M' = M - F(t) + F'(t)). \quad (2)$$

Розмітка M' досяжна для розмітки M , якщо існують послідовність розміток M, M_1, M_2, \dots, M' і слово $\tau = t_1, t_2, \dots, t_k$ в алфавіті T такі, що $M [t_1 \rangle M_1 [t_2 \rangle M_2 \dots [t_k \rangle M'$. Слово τ в цьому випадку називається послідовністю спрацювань від M до M' . Множина $\{M' \mid M [\rangle M'\}$ розміток, досяжних в мережі N від розмітки M , позначається через $R(N, M)$. Множина $R(N) = R(N, M_0)$, тобто множина всіх розміток, досяжних в N від початкової розмітки M_0 , є множиною досяжних розміток мережі N . Множиною послідовних спрацювань мережі N або вільною мовою є множина $L(N) = \{\tau \in T \mid \exists M \in R(N) : M_0 [\tau \rangle M\}$, тобто множина всіх послідовностей спрацювань, що ведуть від M_0 до кожної досяжної в N розмітки.

Розглянемо мережу Петрі, що моделює процес роботи ІС, яка зображена на рис. 2.

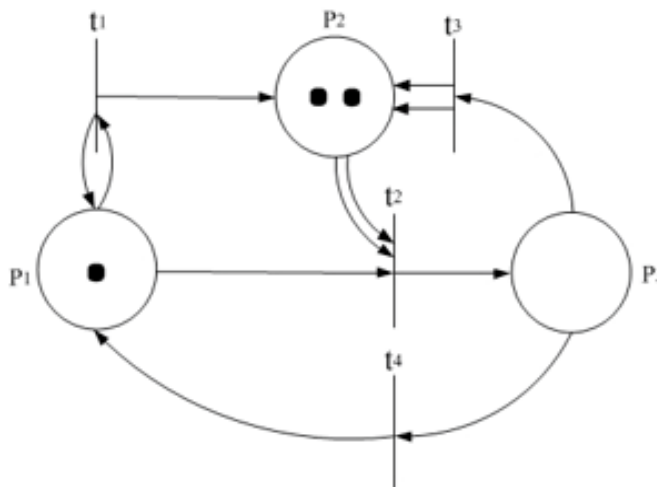


Рис. 2. Мережа Петрі, що моделює процес роботи ІС

В даній мережі $P = (p_1, p_2, p_3)$, $T = (t_1, t_2, t_3, t_4)$. Функція інцидентності F задана двома таблицями, в яких на перетині стрічки x та стовбця y стоїть число $F(x, y)$. Дані таблиці зображені на рис. 3

	p_1	p_2	p_3	
t_1	1	1	0	
t_2	0	0	1	
t_3	0	2	0	
t_4	1	0	0	
	t_1	t_2	t_3	t_4
p_1	1	1	0	0
p_2	0	2	0	0
p_3	0	0	1	1

Рис. 3 Функція інцидентності F мережі Петрі

Початкова розмітка M_0 задана наступним чином: $M_0(p_1) = 1$, $M_0(p_2) = 2$, $M_0(p_3) = 0$, або у векторній формі $M_0 = (1, 2, 0)$. При розмітці M_0 можуть спрацювати переходи t_1 та t_2 , тому що $M_0 = (1, 2, 0) \geq F(t_1) = (1, 0, 0)$, $M_0 = (1, 2, 0) \geq F(t_2) = (1, 2, 0)$. Переходи t_3 та t_4 спрацювати не можуть. Внаслідок спрацювання переходу t_1 розмітка M_0 змінюється на розмітку $(1, 3, 0)$, а внаслідок спрацювання переходу t_2 розмітка M_0 змінюється на розмітку $(0, 0, 1)$. Обидві нові розмітки безпосередньо слідують після розмітки M_0 .

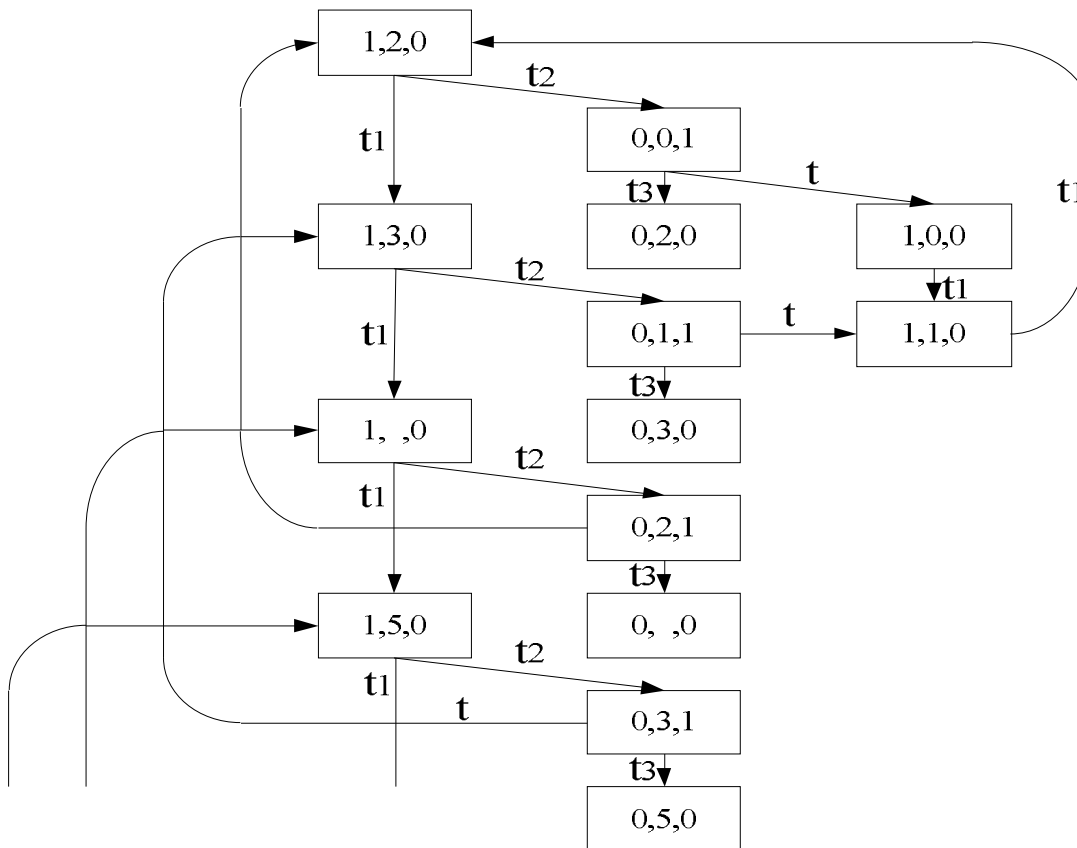


Рис. 4. Початковий фрагмент графа розміток мережі Петрі

Можливо представити ймовірні зміни розміток мережі N , що виникають внаслідок спрацювання її переходів, у вигляді графа розміток – орієнтованого графа, множина вершин якого утворена множиною $R(N)$ досяжних в N розміток. З вершини M до вершини M' веде дуга t тоді і тільки тоді, якщо $M[t]M'$.

На рис. 4 показаний початковий фрагмент графа розміток мережі, зображеної на рис. 2. Цей граф нескінченний, так як множина $R(N)$ досяжних розміток нескінченна для даної мережі. Розмітка $M \in R(N)$ є тупиковою, якщо в мережі N не існує жодного переходу, який може спрацювати при даній розмітці.

Висновки. Проведений аналіз мереж Петрі дозволяє зробити висновок, що збереження функціональної стійкості інформаційної системи під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів є складним динамічним процесом, який можливо описати мережею Петрі. Таким чином, з використанням мереж Петрі можливо створити моделі, які дозволять зберегти функціональну стійкість інформаційної системи під впливом зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів, що базуються на описі структури інформаційної системи. Такі моделі дозволяють враховувати як особливості побудови інформаційної системи, так і динаміку процесів зміни її станів при функціонуванні в умовах впливу зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих факторів.

Список використаної літератури

1. Саланда І. П. Математична модель структури розгалуженої інформаційної мережі 5 покоління (5G) на основі випадкових графів / І. П. Саланда, О. В. Барабаш, А. П. Мусієнко, Н. В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 6 (46). – С. 118-121.
2. Саланда І. П. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / І. П. Саланда, О. В. Барабаш, А. П. Мусієнко // Системи управління, навігації та зв'язку». – 2017. – Вип. 1 (41). – С. 122-126.
3. Mashkov V. A. Self-checking and self-diagnosis of module systems on the principle of walking diagnostic kernel engineering simulation / V. A. Mashkov, O. V. Barabash. – Amsterdam: OPA. – 1998. – Vol. 15. – P. 43-51.
4. Барабаш О. В. Інформаційний підхід до забезпечення функціональної стійкості складних організаційних ерготехнічних систем / О. В. Барабаш, Д. П. Пашков, О. М. Горський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 9(146). – С. 86-89.
5. Барабаш О. В. Методология построения функционально-устойчивых распределенных информационных систем специального назначения / О. В. Барабаш. – Киев: НАОУ, 2004. – 224 с.
6. Барабаш О. В. Методика накопичення діагностичної інформації в системах інтелектуального відеоконтролю / О. В. Барабаш, С. В. Бодров, А. П. Мусієнко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – Вип. 1 (33). – С. 118-121.
7. Кравченко Ю. В. Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем / Ю. В. Кравченко, О. В. Барабаш // Труды академії. – Київ: НАОУ, 2002. – № 40. – С. 225-228.
8. Барабаш О. В. Алгоритм самодіагностування технічного стану вузлів комутації інформаційних систем / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // Сучасний захист інформації. – № 2 – 2014. – С. 114-121.
9. Котов В. Е. Сети Петри / В. Е. Котов. – Москва: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 158 с.
10. Лукова-Чуйко Н. В. Система показників та критеріїв формалізації процесів забезпечення локальної функціональної стійкості розгалужених інформаційних мереж / Н. Г. Кучук, Н. В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – Вип. 1 (47). – С. 123-126.

References

1. Salanda I. P., Barabash O. V., Musiienko A. P., Lukova-Chuiko N. V. "Mathematical model of the structure of the 5th generation branched information network (5G) on the basis of random graphs." *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku* 6(46) (2017): 118-121.
2. Salanda I. P., Barabash O. V., Musiienko A. P. "The system of indicators and criteria for formalizing the processes of ensuring the local functional stability of the branched information networks" *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku* 1(41) (2017): 122-126.
3. Mashkov V. A., Barabash O. V. "Self-checking and self-diagnosis of module systems on the principle of walking diagnostic kernel engineering simulation." – *Amsterdam: OPA* 15. (1998): 43-51.
4. Barabash O. V., Pashkov D. P., Horskyi O. M. "Informational approach to ensuring the functional stability of complex organizational ergot systems." *Systemy obrobky informatsii* 9(146) (2016): 86-89.
5. Barabash O. V. "Methodology for the construction of functional-stable distributed information systems for special purposes." *Kyiv: NAOU* (2004): 224.
6. Barabash O. V., Bodrov S. V., Musiienko A. P. "Method of accumulation of diagnostic information in systems of intellectual video control" *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku* 1(33). – (2015): 118-121.
7. Kravchenko Yu. V., Barabash O. V. "Functional stability – the property of complex technical systems." *Proceedings of the Academy. Kiev: HAOU* 40 (2002): 225-228.
8. Barabash O. V., Obidin D. M., Musiienko A. P. "Algorithm of self-diagnostics of the technical condition of switching nodes of information systems." *Suchasnyi zakhyst informatsii* 2 (2014): 114-121.
9. Kotov V. E. "Petri networks." *Moskva: Nauka.* (1984): 158.
10. Kuchuk N. H., Lukova-Chuiko N/ V. "The system of indicators and criteria for formalizing the processes of ensuring the local functional stability of the branched information networks." / Н. Г. Кучук, Н. В. Лукова-Чуйко // *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku* 1(47) (2018): 123-126.

Автори статті

Барабаш Олег Володимирович – доктор технічних наук, завідувач кафедри вищої математики, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380 (95) 870 24 90. E-mail: bar64@ukr.net

Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380 (96) 768 20 85. E-mail: lukova@ukr.net

Мусієнко Андрій Петрович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380 (95) 315 69 17. E-mail: mysienkoandrey@gmail.com

Ільїн Олег Юрійович – доктор технічних наук, професор кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна. Тел.: +380 (67) 500 66 12. E-mail: oleg.ilin54@ukr.net

Authors of the article

Barabash Oleh Volodymyrovych – doctor of sciences (technical), head of the higher mathematics department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel. : +380 (95) 870 24 90. E-mail: bar64@ukr.net

Lukova-Chuiko Natallia Viktorivna – candidate of sciences (physics and mathematics), associate professor of the informational and cybernetic security department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380 (96) 768 20 85. E-mail: lukova@ukr.net

Musiienko Andrii Petrovych – candidate of sciences (physics and mathematics), associate professor of the higher mathematics department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380 (95) 315 69 17. E-mail: mysienkoandrey@gmail.com

Ilyin Oleh Yuriyovych – doctor of sciences (technical), professor of the software engineering department, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine. Tel.: +380 (67) 500 66 12. E-mail: oleg.ilin54@ukr.net

Дата надходження

в редакцію: 12.01.2018 р.

Рецензент:

доктор технічних наук, професор Ю.В. Кравченко
Київський національний університет імені Тараса
Шевченка, Київ