

ТЕОРІЯ І МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

УДК 004.75

О.О.Лебедева, О.М. Матвійків

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра систем автоматизованого проектування

ФОРМАЛІЗАЦІЯ КОНФЛІКТІВ ПРИ КОЛЕКТИВНОМУ ПРОЕКТУВАННІ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗШИРЕНОЇ МЕРЕЖІ ПЕТРІ

© Лебедева О.О., Матвійків О.М., 2009

Розглянуто процес виявлення та розв’язання конфліктних ситуацій, описаний за допомогою мереж Петрі, які наведені графічно та за допомогою матриць.

Ключові слова – Колективне проектування, конфлікт, мережа Петрі.

The process of conflict detection and resolution described with Petri nets is considered in the article. Petri nets are presented graphically and by matrices.

Keywords – Collaborative design, conflict, Petri net.

Вступ

Мережі Петрі – це орієнтований дводольний граф з мітками (марками), тобто це інструмент для математичного моделювання та дослідження складних систем. Метою представлення системи у вигляді мережі Петрі та послідовного аналізу цієї мережі полягає в отриманні важливої інформації про структуру та динамічну поведінку системи, що моделюється.

Мережі Петрі були розроблені ще в 1962 р. і призначалися для того, щоб представити координацію асинхронних подій. Мережі Петрі є універсальним засобом формального опису, моделювання та аналізу процесів у паралельних та розподілених системах. Проте, через велику кількість елементів, потрібних для опису навіть простих процесів, використання мереж Петрі не набуває такої популярності серед науковців, як моделювання процесів в системах масового обслуговування.

Постановка задачі

Проблема насамперед полягає у тому, щоб зробити представлення систем мережами Петрі більш зрозумілим, наближеним до реальних процесів. Для цього потрібно зменшити кількість елементів, необхідних для представлення процесів, не порушивши універсальності алгоритму імітації у мережах Петрі. Розширення поняття мережі Петрі (в межах її математичного визначення) дасть змогу збільшити коло задач, що підлягають моделюванню.

Ми пропонуємо використати модифіковану мережу Петрі для представлення процесу колективного проектування та координації дій учасників проектування. Для цього використаємо унікальну перевагу мережі Петрі, що полягає в можливості одночасно підтримувати специфікацію представлення і оцінку мережі Петрі [1, 2]. А математичні властивості мережі Петрі дозволяють нам кількісно аналізувати поведінку процесу проектування. До того ж мережі Петрі мають простий графічний вигляд, який є достатньо зручною і точною мовою для зв'язку між учасниками проектування. Проте, потрібно врахувати, що колективний процес проектування є доволі складним і неструктурованим порівняно з іншими процесами та часто призводить до появи конфліктів проектування.

Розвиток мережі Петрі для моделювання колективного процесу проектування

У колективній моделі процесу проектування, позиція і перехід у мережі Петрі відповідають “стану” і “завданню” відповідно. Процес проектування можна представити шляхом організації станів і завдань. Завдання – діяльність учасників проектної групи, яку доводиться виконувати протягом певного періоду процесу проектування. Стан – це статус (або група умов), якого учасники проектування хочуть досягти через завдання. Кожне з них (і стан, і завдання) можуть мати часову тривалість. Різниця між ними полягає в тому, що стан використовується, щоб представити умови в процесі проектування, а завдання – представити засоби. Стан може бути візуалізований як “що” в процесі проектування, тоді як завдання – “як” виконувати “що”. Вага завдань може використовуватися, щоб представити споживання ресурсу. Дуги представляють видозмінені напрямки між станами і завданнями протягом проекту. Лексема означає стан кожної індивідуальної події. Стан містить лексему тоді, і тільки тоді, коли він активний (тобто, стан спрацьовує). Тому, весь стан процесу проектування можна виразити за допомогою маркування M , яке є вектором, що має розпізнавальні номери кожної події в процесі проектування. Кожне завдання і стан мають безліч пов'язаних учасників проектування.

Для того, щоб представити систему у вигляді мережі Петрі, потрібно:

- виділити події, що виникають у системі;
- з'ясувати умови, при яких виникає кожна з подій;
- з'ясувати зміни, які відбуваються в системі під час здійснення кожної події;
- представити графічно зв'язки між подіями та умовами.

У графічному представленні мережі Петрі подіям відповідають переходи, умовам – позиції. Корисно позначати позиції та переходи не літерами, а іменами, які підказують зв'язок того чи іншого фрагменту мережі Петрі з реальною системою.

Відомо, що математично структуру мережі Петрі представляють за допомогою матриць [2]. Матриця входів характеризує зв'язки, які йдуть від позицій до переходів, а матриця виходів – зв'язки, які йдуть від переходів до позицій. Вектор маркування M характеризує кількість фішок в i -позиції. Отже, матриці входів та виходів повністю характеризують умови запуску переходу та результат запуску переходу.

У роботі [3] запропоновані загальні підходи до моделювання систем за допомогою мереж Петрі з часовими затримками і виділені декілька рівнів складності мереж Петрі:

- елементи матриці входів або матриці виходів є числа;
- елементи матриці входів або матриці виходів залежать від випадкового числа g , закон розподілу якого відомий;
- елементи матриці входів або матриці виходів залежать від вектора маркування M ;
- елементи матриці входів залежать від значення параметра u ;
- елементи матриці входів або матриці виходів залежать від часу t .

Перші два рівні складності – це класичні мережі Петрі. Інші три рівні пропонуються для того, щоб розширити можливості мереж Петрі і збільшити ефективність їх використання для цілей імітаційного моделювання.

Формально, колективний процес проектування може бути представлений графом мережі Петрі з наступними визначеннями.

Мережа колективного процесу проектування ($CDPN=MKPP$) – це шестивимірна мережа Петрі з набором ярликів $CDPN = (S, T, P, A, W, M)$:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ скінченна множина станів проектування,

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$ скінченна множина завдань проектування,

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ скінченна множина учасників проектування,

$A \subseteq \{(S \times T) \cup (T \times S)\}$ скінченна множина спрямованих дуг пов'язаних станів і завдань,

$W : T \rightarrow \{w_1, w_2, \dots, w_p\}$ вага функцій, прикріплених до завдань проектування,

$M_0 : E \rightarrow \{0,1,2,\dots\}$ початкове маркування.

Розглянемо формалізацію процесу колективного проектування на прикладі проектування колекції одягу. Як показано на рис. 1, частина побудови процесу проектування представляється графом з наведеними вище елементами. Ми використовуємо P_1, P_2, P_3, P_4 , щоб визначити учасників процесу колективного проектування. На початку проектування, лексеми тільки містяться в початковому стані (S_1 і S_2). Після того, як учасники проектування сформулювали завдання, лексеми від скерованих подій можуть бути переміщені в низхідні події. M_0 визначається як початкове маркування МКПП, яке є вектором, що містить розпізнавальний номер для кожної події. Наприклад, на початку M_0 дорівнює $[1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$, тільки починаючи з події 1 і 2 володіє лексемами. Якщо M_0 дорівнює $[0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$, це означає, що всі завдання, показані в графові, були виконані, як тільки лексема представляється в останній події [8].

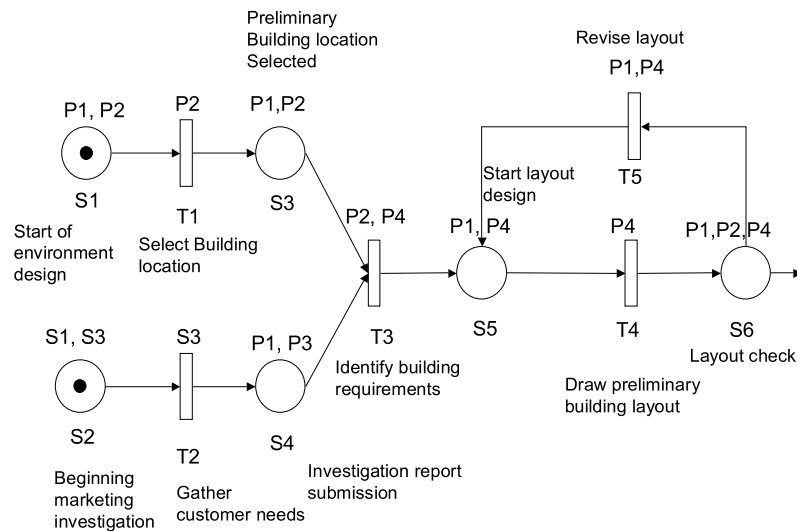


Рис. 1. Мережа колективного процесу проектування

Вхідні і вихідні взаємозв'язки між завданням і подіями визначають, як:

- ${}^{\circ}S(t)$ набір вхідних станів завдання t , (тобто набір $\{s \mid (s, t) \in A\}$),
- $S^{\circ}(t)$ набір вихідних станів завдання t , (тобто набір $\{s \mid (t, s) \in A\}$),
- ${}^{\circ}T(s)$ набір вхідних завдань події s , (тобто набір $\{t \mid (t, s) \in A\}$),
- $T^{\circ}(s)$ набір вихідних завдань події s , (тобто набір $\{t \mid (s, t) \in A\}$).

Зрозуміло, що, остаточне завдання t складається з перетворення початкового маркування M_0 МКПП в нове маркування M_{i+1} . Перехід завдання $t \in T$ включає дві операції, які видаляють лексему з кожного $s \in {}^{\circ}S(t)$ і додають лексему до кожного $s \in S^{\circ}(t)$ (припущення кожної дуги має навантаження).

Завдання може перейти в стан M_i , якщо $\forall s \in {}^{\circ}S(t) : M_i(s) > 0$. Перехід завдання призводить до наступного стану M_{i+1} , який можна обчислити за допомогою:

$$M_{i+1}(s) = \begin{cases} M_i(s) - 1 & \text{я } s \in {}^{\circ}t \\ M_i(s) + 1 & \text{я } s \in t^{\circ} \\ M_i(s) & \text{інакше} \end{cases} \quad (1)$$

Тому, виконання процесу проектування представляється за допомогою послідовності переходів завдань $\sigma = \langle t_1, t_2, \dots \rangle$, яка має відношення до перетворення маркування $M_0 \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow \dots$.

Матриця інцидентності процесу $U = [u_{i,j}]$ призначена для представлення взаємозв'язку між завданнями і подіями в МКПП.

Матриця інцидентності $U = [u_{i,j}]$ визначена за допомогою усіх станів $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$, та завдань $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$, де

$$u_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{якщо } t_j \in T(s_i) \\ -1 & \text{якщо } t_j \in T^\circ(s_i) \\ 0 & \text{інакше} \end{cases} \quad (2)$$

Наприклад, $(n \times q)$ матрицею інцидентності наведеного вище графа буде:

$$U = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

Взаємозв'язок між встановленим перетворенням і матрицею інцидентності може бути виражений в такому рівнянні перетворення:

$$M^T = M_0^T + U * V_\sigma^T \quad (3)$$

У цьому рівнянні, $V_\sigma = [v_1, v_2, \dots, v_q]$ – розрахунковий вектор для послідовності переходу завдань σ з таким визначенням:

Розрахунковий вектор послідовності переходу σ визначається як $V_\sigma = [v_1, v_2, \dots, v_q]$, де v_i – кількість завдань t_i , включених в σ .

Отримана послідовність переходу $\langle T1, T2, T3, T4, T5, T4 \rangle$ в прикладі, її розрахунковий вектор V_σ дорівнює $[1 \ 1 \ 1 \ 2 \ 1]$. На основі рівняння (3), кінцеве маркування можна обчислити як вказано нижче.

$$M^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$M = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$ показує, що тільки подія 6 активна, а це означає, що процес, показаний в графові, може бути закінчений.

Залежність завдань занадто проста, щоб бути ідентифікованою з МКПП, що означає матрицю залежності завдань $M_T = [(mt)_{ij}]$. Якщо хтось виведе події завдань i в межах безлічі вхідних станів завдань j (тобто, завдання i є перед завданням j), ми звертаємося до цієї “послідовної ситуаційної залежності”. Інша ситуація – коли два завдання спільно використовують той самий

вихідний або вихідний стан, який називається “сумісна залежність”. В обох випадках, цей залежний чинник починається з 1. Інакше, не існує ані послідовної, ані сумісної залежності між двома завданнями. У матриці залежностей завдань легко ідентифікувати критичні завдання (наприклад, T₃), які мають відношення до багатьох інших завдань.

Матриця залежності завдань $M_T = [m_{ij}^T]$ визначена за допомогою усіх завдань $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$, де

$$m_{i,j}^T = \begin{cases} 1 & \text{якщо } S^\circ(t_i) \cap S(t_j) \neq \phi \\ 1 & \text{якщо } (S^\circ(t_i) \cap S(t_j) \neq \phi) \vee (S^\circ(t_i) \cap S^\circ(t_j) \neq \phi) \\ 0 & \text{інакше} \end{cases} \quad (4)$$

Також, щоб представити призначення завдань учасників проектування з МКПП, ми визначасмо матрицю призначення завдань.

Матриця призначення завдань $M_{TP} = [m_{ij}^{TP}]$ визначена за допомогою набору учасників проектування $P = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ і набору завдань $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$ з цінністю

$$m_{ij}^{TP} = \begin{cases} 1 & \text{якщо } t_j \in \{t \mid p_i \text{ perform } t\} \\ 0 & \text{якщо } t_j \notin \{t \mid p_i \text{ perform } t\} \end{cases} \quad (5)$$

Матриця ролі завдань $R_T = [r_{ij}^T]$ визначена за допомогою набору учасників проектування $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ і набору завдань $T = \{t_1, t_2, \dots, t_q\}$ з цінністю

$$\text{for } j = 1, 2, 3, \dots, \sum_{i=1, 2, \dots} r_{i,j}^T = n, \quad (6)$$

n - набір ненульових значень в колонці j M_{PT}

Учасники проектування мають сильніший контроль щодо завдань, коефіцієнт ролі більший.

Наприклад, матриця залежності завдань, матриця призначення завдань і матриця ролі наведеної вище МКПП можуть бути отримані, як:

$$M_T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad M_{PT} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad R_T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1.6 & 0.8 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 1.2 & 1 \end{bmatrix}$$

Управління конфліктами за допомогою мережі Петрі

Оскільки цілі проектувальників, значною мірою, залежатимуть від взаємодій між завданнями, впорядкування процесу проектування до бажаного методу стає ефективним підходом для координації цілей учасників проектування. Коли конфлікти трапляються з матриць залежностей, система може ідентифікувати завдання проектування в представленні процесу. Потім можливе рішення – змінити деякі завдання або знайти нове завдання, щоб видалити джерело конфлікту [8]. Іноді, ефективна обробка конфлікту проектування зменшує ітерації завдань і скорочує процес проектування. Наприклад, методологія виявляє конфлікт в завданні T4 діаграми процесу, пропонується декілька шляхів управління цим конфліктом. Можливе рішення – додати завдання перед станом S5 так, щоб необхідна інформація проекту виходила раніше. Потім процес змінюється, щоб запобігти конфлікту (рис. 2). Можливе рішення – додати завдання (наприклад, дозволити проектувальникові конкретизувати вимогу) перед T4 так, щоб необхідна інформація проектування виходила раніше. Потім процес змінюється для запобігання конфлікту (рис. 3).

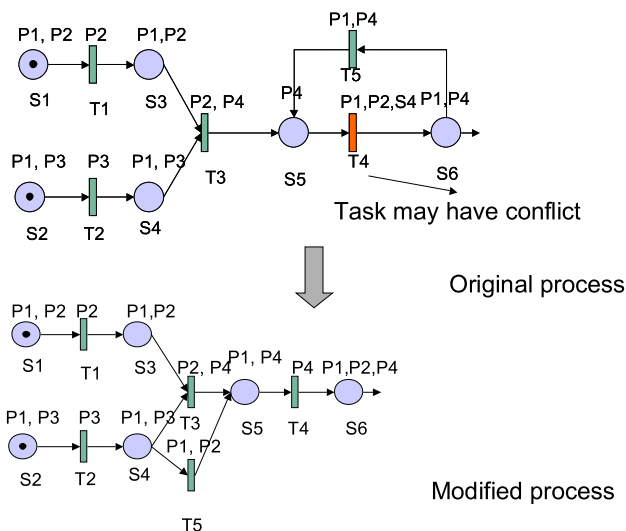


Рис. 2. Приклад процесу управління конфліктами [8]

Паралелізм, зазвичай, розглядається в колективному проектуванні як паралельне виконання завдання, що може скоротити етап розроблення і зберегти ресурс. Проте, учасники проектування часто не можуть спрогнозувати їх поведінку в таких паралельних діях. Вони, зазвичай, обмежують знання про повну ситуацію проектування і нехтують різними залежностями між локальними рішеннями. Тому, координація завдань проектування є дуже критичною. З іншого боку, потрібно зазначити, що дії проекту доволі складні і неструктуровані порівняно з іншими процесами.

Учасники проектування можуть спільно сформувати модель процесу проектування. Система повинна оцінити несуперечності завдань на основі аналізу.

У нашій мережі Петрі, колективний процес проектування представляється за допомогою організації станів і завдань. Час і споживання ресурсу пов'язується з кожним завданням. Послідовність завдань і відповідальних учасників представлені як горизонтальна вісь. Послідовність завдань представляє хронологічне виконання дій, а вертикальна вісь показує учасників проектування. Кожен горизонтальний потік завдань відповідає певному учаснику, що відіграє специфічну роль в кампанії проекту.

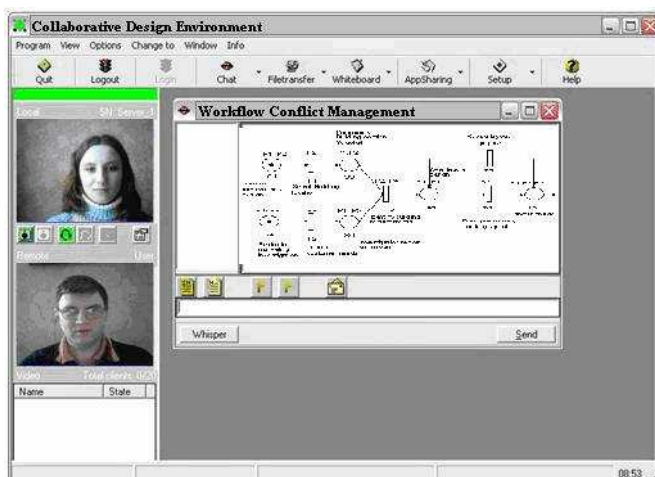


Рис. 3. Модуль виявлення і розв'язання конфліктів у маршруті проектування

Елементи, які ускладнюють реалізацію мереж Петрі:

- наявність часових затримок;
- наявність багатоканальних переходів;
- наявність конфліктних переходів;
- залежність кількості зв'язків від маркування всієї мережі Петрі;
- наявність інформаційних зв'язків.

У [4] дано формальне визначення правил функціонування часової мережі Петрі з багатоканальними переходами і виведено рівняння станів часової мережі Петрі:

$$\begin{aligned}
 M'_p(\tau) &= M_p(\tau - 1) + \sum_{t \in P^-} w_{t,p} u_t(\tau - d_t) \\
 M_p(\tau) &= M'_p(\tau) - \sum_{t \in P^+} w_{t,p} u_t(\tau) \\
 M_p(\tau) &\geq 0, \quad p \in P \\
 v_t(\tau) &= \frac{M'_q(\tau)}{w_{q,t}}, \quad q \in t^- \\
 0 \leq u_t(\tau) &\leq v_t(\tau), \quad t \in T \\
 S(0) &= S_0, \quad \tau = 1, 2 \dots
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

де τ – номер такту модельного часу (протягом одного такту в мережі Петрі не відбувається жодної зміни стану); $u_t(\tau)$ – кількість каналів переходу t , що є запущеними в такті τ ; $M_p(\tau)$ – маркування позиції в такті τ ; $M'_p(\tau)$ – проміжне маркування, що є результатом виходу фішок з переходів; $w_{t,p}(\tau)$ – кількість зв'язків між переходом t та позицією p ; $v_t(\tau)$ – кількість каналів, що можуть бути запущені в такті τ ; S_0 – стан мережі Петрі (її позицій та переходів) у початковий момент часу.

Конфліктні переходи дозволяють моделювати розгалуження маршрутів фішок. Існують такі способи розв'язання конфліктів: рівноймовірнісний, пріоритетний та ймовірнісний способи. При рівноймовірнісному способі переходи, що конфліктує, запускаються з рівною ймовірністю. При пріоритетному способі першим запускається перехід, для якого вказаний вищий пріоритет. При ймовірнісному способі для конфліктних переходів вказується ймовірність запуску переходу і першим запускається перехід, на який вказало випадкове число. Ймовірнісний спосіб реалізується за допомогою параметра, що називається „вага переходу”. Якщо для n -конфліктних переходів задана вага переходу a_t , $t=1, \dots, n$, то ймовірність запуску переходу t розраховується системою як $\frac{a_t}{\sum a_t}$.

Висновки

Конфлікти, що виникають на різних стадіях колективного процесу проектування, производять до подорожчання проектних робіт, затримок в розробленні виробів або небажаних компромісних рішень на кінцевій стадії проектування. Однією з основних причин конфліктів є відсутність інформації, яку проектувальники мають про цілі інших учасників проекту і причини для відхилення або ухвалення окремих проектних рішень.

У роботі запропоновано модифіковану модель мережі Петрі, що дає змогу виявляти, діагностувати та розв'язувати конфліктні ситуації в колективному проектуванні, щоб представити дії проектувальників і координацію між ними.

1. David R., Alla, H. *Petri Nets and Grafcet.* – Prentice Hall, Cambridge, 1992. 2. Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем.* – М., 1984. – 270 с. 3. Стеценко І.В., Данилюк А.А. *Імітаційне моделювання систем управління засобами сіток Петрі // Вісн. Черкаськ. держ. технол. ун-ту.* – 2005. – № 3. – с. 293 – 295. 4. Зайцев Д.А., Слепцов А.И. *Уравнение состояний и эквивалентные преобразования временных сетей Петри // Кибернетика и системный анализ.* – 1997. – № 5. – с. 59 – 76. 5. Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ.* – М.: Мир, 1984. – 264 с. 6. Котов В. Е. *Сети Петри.* – М: Наука, 1984. 7. І.В. Стеценко, О.В. Бойко. *Система імітаційного моделювання засобами сіток Петрі // Математичні машини і системи.* – 2009. – № 1. – с. 117 – 124. 8. Stephen C-Y. Lu, Firdaus Udwadia. *Conflict Management in Collaborative Engineering Design // The Final Report.* – The IMPACT Research Laboratory, University of Southern California, November 2000.