

УДК 681.3

СЕЛЕЦЬКИЙ В.С., к.т.н., провідний інженер (ІОЦ Львівської залізниці)

Розширення мереж Петрі. Частина III. Перетворення мереж Петрі і програмування

Представив д.т.н., професор Загарій Г.І.

На підставі проілюстрованих перетворень розширених підмереж Петрі в звичайні підмережі Петрі, які описані математичною мовою обґрунтовано практичне застосування розширень мереж Петрі: інгібіторної дуги n -го порядку, вихідної позиції n -го рівня, вхідної позиції n -го рівня, предикатної позиції і предикатної позиції n -го порядку, а також наведені описи розширень мереж Петрі конструкціями операторів і процедур користувачів мови Borland C++ Builder.

Ключові слова: підмережа, маркіровка, модель, конструкція, мова C++.

Огляд розширень мереж Петрі

Для моделювання технологічних процесів різних інформаційних і транспортних систем, в тому числі і систем залізничного транспорту були розглянуті нововведення мереж Петрі [1-5]. В статті [1] були введені нові популяції: ● *виду дуги* – інгібіторна дуга n -го порядку; ● *виду позицій*: позиція n -го рівня, позиція з фіксованим часом затримання фішок, позиція n -го рівня з фіксованим часом затримання фішок; проста предикатна позиція; предикатна позиція n -го рівня. В статті [2] розроблено предикатний перехід та наведені приклади моделей його застосування. В статті [3] введено поняття мереж Петрі в n -вимірному просторі на підставі складених мереж Петрі за допомогою методу декомпозицій, а саме введено нові популяції МП: МП в одновимірному просторі; МП в двохвимірному просторі; МП в трьохвимірному просторі. В статті [4] елементи розширеної мережі Петрі: інгібіторна дуга n -го порядку; позиція n -го рівня, позиція з фіксованим часом затримання фішок, позиція n -го рівня з фіксованим часом затримання фішок, проста предикатна позиція, предикатна позиція n -го рівня і предикатний перехід описані на математичній мові і відображені за допомогою графічних інтерпретацій та на наведених прикладах обґрунтовано цінність використання елементів розширеної мережі Петрі для побудови моделей, які описують складні технологічні процеси різних інформаційних і транспортних систем, а стаття [5] присвячена розробці примітивів у термінах мереж Петрі, які відповідають характерним алгоритмічним конструкціям обраної програмної технології і дозволяють будувати моделі паралельних програм, відображати їх роботу та проводити тестування.

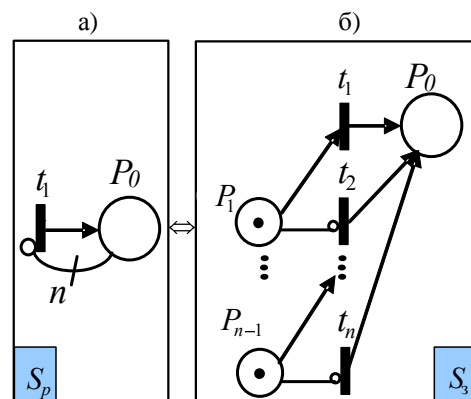
Використання мережевої топології моделі дозволяє вдало сполучувати фізичне відображення, логічний опис та керування обміном даними. В якості досліджуваної програмної технології було обрано мову програмування Ада.

Перетворення розширених мереж Петрі в звичайні мережі Петрі

На рис. 1 а) наведена підмережа S_p з використанням інгібіторної дуги n -го порядку. Підмережа S_p , яка описана розширеною мережею Петрі, задається наступними матрицями:

$$P = \begin{vmatrix} 0 & 1 & -n \end{vmatrix}, \quad T = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 1 \end{vmatrix},$$

початковою маркірковою: $m(P_0) = 0$ та часом затримування фішок в позиції: $f(P_0) = f_0$.

Рис. 1. Підмережі S_p і S_3

© В. С. Селецький, 2013

Таким чином модель підмережі Петрі: $t_1 \rightarrow P^1$ відповідає конструкції циклу в BCB: **do** {тіло циклу} **while** (умова).

Підмережу S'_p з використанням вхідної позиції n -го рівня побудовано на рис. 3 а). Підмережа S'_p описана розширеною мережею Петрі, задається наступною матрицею: $P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$, початковою маркіровкою: $m(P^1) = \underbrace{(1 \ 1 \ \dots \ 1)}_n^T$ і часом затримування фішок в позиції: $f(P^1) = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T$.

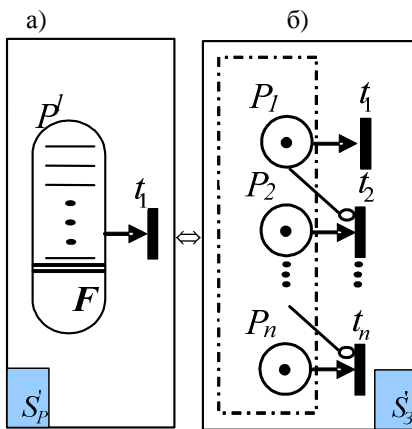


Рис. 3. Підмережі S'_p і S'_3

На рис. 3 б) побудовано перетворення розширеної підмережі S'_p в звичайну підмережу S'_3 . Підмережа S'_3 , яка описана звичайною мережею Петрі, задається наступними транспортними матрицями:

$$P^T = \begin{bmatrix} 1 & 2 & \dots & n & 1 & 2 & \dots & n-1 \\ 1 & 2 & \dots & n & 2 & 3 & \dots & n \\ 1 & 1 & \dots & 1 & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix},$$

початковою маркіровкою: $m(P_i) = 1$, де $1 \leq i \leq n$ і часом затримування фішок в позиціях: $f(P_i) = f_i$, де $1 \leq i \leq n$.

Приклад 3. Розширена підмережа S'_p імітує модель обробки n повідомлень. В підмережі S'_p позиція n -го рівня P^1 моделює АС або сервер, на якій обробляються n повідомлень. На рівні L_i^1 позиції n -го рівня P^1 -і-те повідомлення довжиною l_i

обробляється за час f_i , де $1 \leq i \leq n$. Перехід t_1 моделює поступання оброблених повідомлень з АС.

Фрагмент 3 програми на мові BCB описує інтерпретацію підмережі S'_p .

```

Фрагмент 3.
Void __fastcall TM_Petri::InpPn(TObject *Sender)
//вхідна позиція n - го рівня
{TDateTime Time1;const int n=5;int f[n];
 unsigned short h,m,s,ms;Byte ms1,ms2;int i;
 int M[n]={1,1,1,1,1};//маркіровка позиції n - го
 рівня
 i=0;while(M[i]==1){//початок блоку
 Time1=Now();DecodeTime(Time1,h,m,s,ms);ms1=ms;
 Obrob();//Обробник повідомлень
 Time1=Now();DecodeTime(Time1,h,m,s,ms);ms2=ms;
 f[i]=ms2-ms1;// час обробки повідомлень в msec
 i++;}//кінець блоку }
    
```

Отже, модель підмережі Петрі: $P^1 \rightarrow t_1$ відображає конструкцію циклу в BBC: **while**(умова) {тіло циклу}.

На рис. 4 а) наведена підмережа S'_p з використанням предикатної позиції. Підмережа S'_p , яка описана розширеною мережею Петрі, задається наступними матрицями:

$$P^T = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 1 & \dots & n & \dots & k \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}, T^T = \begin{bmatrix} 1 & \dots & n & \dots & k \\ 1 & \dots & n & \dots & k \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

і початковою маркіровкою: $m(P_0) = \langle n, m \rangle$ і $m(P_j) = 0$ для $1 \leq j \leq k$.

На рис. 4 б) побудовано перетворення підмережі S'_p в підмережу S'_3 . Підмережа S'_3 , яка описана звичайною мережею Петрі, задається наступними транспортними матрицями:

$$P^T = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & \dots & n & \dots & k & 1 & \dots & n-1 & n+1 & \dots & k \\ 1 & \dots & m & \dots & 1 & -1 & \dots & -1 & -1 & \dots & -1 \end{bmatrix},$$

$$T^T = \begin{bmatrix} 1 & \dots & n & \dots & k \\ 1 & \dots & n & \dots & k \\ 1 & \dots & m & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

початковою маркіровкою: $m(P_i) = m$ і $m(P_j) = 0$ для $1 \leq j \leq k$.

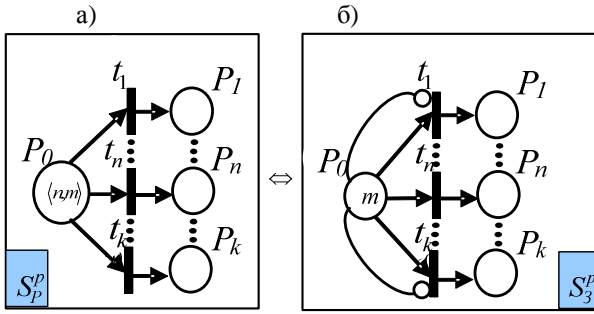


Рис. 4. Підмережі S_p^p і S_3^p

Приклад 4. Підмережа S_p^p імітує модель поступання повідомлення довжиною m одиниць інформації на обробку на канал n . В підмережі S_p^p : позиція P_0 моделює повідомлення довжиною m одиниць інформації типу n , перехід t_i , де $1 \leq i \leq k$ моделює поступання повідомлення на обробку на канал i , де $1 \leq i \leq k$ і позиція P_i , де $1 \leq i \leq k$ моделює канал i , де $1 \leq i \leq k$ на якому обробляється повідомлення типу i .

Фрагмент 4 програми на мові VCB описує інтерпретацію моделі 4.

Фрагмент 4.

```
void __fastcall TM_Petri::PrP_Click(TObject
*Sender)
//предикатна позиція
{const int k=5;int M[k];M[1]=0; M[2]=0; M[3]=0;
M[4]=0; M[5]=0;// поч. маркіровка  $m(P_i)=0$  для
 $1 \leq i \leq k$ 
randomize();int n=random(k)+1;int m=random(k)+1;
//початкова маркіровка:  $m(P_0)=\langle n,m \rangle$ 
switch(n)
{case 1:M[1]=m;break; case 2:M[2]=m;break;
case 3:M[3]=m;break; case 4:M[4]=m;break;
case 5:M[5]=m;break;}
```

На рис. 5 а) наведена підмережа S_p^{Pk} з використанням предикатної позиції k -го порядку. Підмережа S_p^{Pk} , яка описана розширеною мережею Петрі, задається наступною транспортною матрицею:

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & l \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

початковою маркіровкою $m(P^1) = (\langle n_1, m_1 \rangle, \langle n_2, m_2 \rangle, \dots, \langle n_k, m_k \rangle)$.

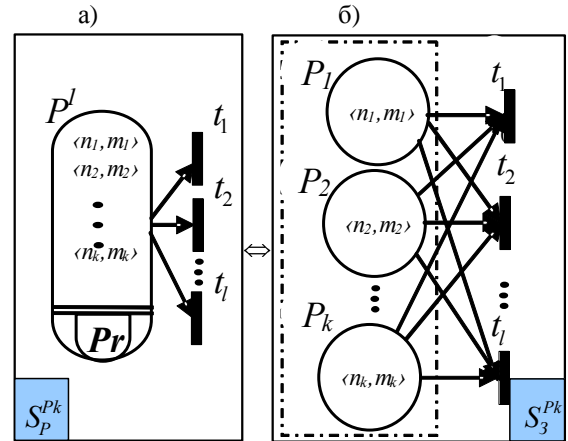


Рис. 5. Підмережі S_p^{Pk} і S_3^{Pk}

На рис. 5 б) побудовано перетворення підмережі S_p^{Pk} в підмережу S_3^{Pk} . Підмережа S_3^{Pk} , яка описана мережею Петрі, задається наступною транспортною матрицею:

$$P^T = \begin{pmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 2 & 2 & \dots & 2 & \dots & k & k & \dots & k \\ 1 & 2 & \dots & l & 1 & 2 & \dots & l & \dots & 1 & 2 & \dots & l \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

і початковою маркіровкою: $m(P_i) = \langle n_i, m_i \rangle$, де $1 \leq i \leq k$.

Зауваження. Якщо підмережу S_3^{Pk} побудувати за допомогою простих позицій, то вона буде громіздка і дуже складна. Тому підмережу S_3^{Pk} побудовано з використанням предикатних позицій.

Приклад 5. Розширена підмережа S_p^{Pk} імітує модель розформування складу поїзда з сортувальної гірки (СГ) на колії сортувального парку (СП). В підмережі S_p^{Pk} предикатна позиція k -го рівня P^1 моделює склад поїзда. Параметри розформування складу поїзда на СГ задаються початковою маркіровкою позиції: $\langle n_i, m_i \rangle$ для $1 \leq i \leq k$, де n_i - номер колії на яку прямує відчеп в СП, m_i - кількість вагонів у відчепі і k - кількість відчепів в складі поїзда. Переходи t_j для $1 \leq j \leq l$, де l - кількість колій в СП моделюють поступання відчепів на колії СП.

Фрагмент 5 програми на мові VCB описує інтерпретацію підмережі S_p^{Pk} .

Фрагмент 5.

```
void_fastcallTM_Petri::PrPn_Click(TObject
*Sender)// предикатна позиція k-го порядку
{const int k=5; l=6; int n[k]; int m[k];
//задання поч. маркіровки  $m(P^l) = \{ \langle n_i, m_i \rangle \}$  для
1 ≤ i ≤ k
//(задання послідовності з'ясування переходів та
//кількості фішок, які вилучаються)
for(i=1; i<=k; i++){randomize();
int n[i]=random(l)+1;
int m[i]=random(k)+1;
}}.
```

Висновки

На проілюстрованих перетвореннях моделей 1а-5а відповідно в моделі 1б-5б, які описані математичною мовою і на наведених прикладах 1-5 обґрунтовано практичне застосування розширень мереж Петрі: інгібіторної дуги n -го порядку, вихідної позиції n -го рівня, вхідної позиції n -го рівня, предикатної позиції і предикатної позиції n -го порядку.

Розширення мереж Петрі описані конструкціями операторів і процедур користувачів мови *Borland C++ Builder*.

Строгі математичні формулювання розширень мереж Петрі дають можливість коректно будувати моделі технологічних процесів інформаційних, транспортних і інших систем.

Моделі, які побудовані за строгими правилами реально відображають технологічні процеси системи в динаміці.

Література

1. Селецький В.С., Федак Я.А. Про пристрої обслуговування заявок //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2001. - № 5. – С. 31 – 34.
2. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина I. Означення, моделі та їх математичний опис //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2011. - № 5. – С. 77 – 80.
3. Селецький В.С. Мережі Петрі в n – вимірному просторі та їх застосування на залізничному транспорті //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2010. - № 3. – С. 15 – 19.
4. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина II. Обґрунтування, властивості і аналіз //Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2011. - № 6. – С. 31 – 36.
5. Супруненко О.О., Парнюк А.М. Засоби автоматизованого аналізу алгоритмів паралельних програм на основі модифікацій. //Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – Т. 4, N 3(46). – С. 66-71.

Селецкий В.С. Расширение сетей Петри. Часть III. Преобразование сетей Петри и программирования.

На основании проиллюстрированных превращений расширенных подсетей Петри в обычные подсети Петри, которые описаны математическим языком обоснованно практическое применение расширений сетей Петри: -ингибиторной дуги n – го порядка, исходной позиции n – го уровня, входной позиции n – го уровня, предикатной позиции и предикатной позиции n -го порядка, а также приведены описания расширений сетей Петри конструкциями операторов и процедур пользователей языка *Borland C++ Builder*.

Ключевые слова: подсеть, маркировка, модель, конструкция, язык C++.

Selezkyj V. S. The expansion of Petri-nets. Part III. Transforming Petri-nets and programming.

Practical application of augmented Petri-net: inhibitor arc of n -order, initial position of n -level, input position of n -level, predicate position and predicate position of n -order has been grounded on the basis of illustrated transformations of extended Petri-sub-nets into general Petri-sub-nets which have been described in mathematical language. The descriptions of Petri-nets augmentations by the constructions of operators and procedures of *Borland C++ Builder* language users have also been presented.

Key words: network, marking, model, design, language C++.

Рецензент д.т.н., професор Мойсеєнко В.І. (УкрДАЗТ)

Поступила 28.11.2013 р.