

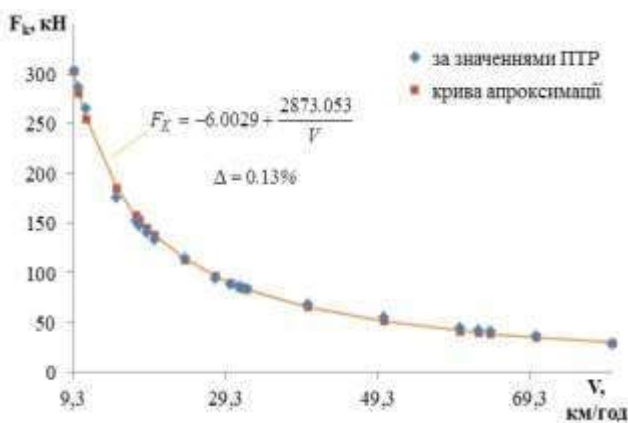


Рис. Рівняння гіперболічної сили тяги тепловозу ЧМЕЗ на 8-й позиції контролера машиніста

Головною задачею при проведенні апроксимації є відслідкування похибки розрахунку та візуального контролю збіжності точкових значень з графічною інтерпретацією кривої. У разі невідповідності необхідно змінити тип кривої на поліноміальну, експоненційну, логарифмічну чи іншу. Впроваджені результати розрахунку знайшли своє застосування в програмному комплексі «Тягові розрахунки» та направлені на підвищення точності обчислень [1].

Список використаних джерел

- 1 Фалендиш А.П., Гатченко В.О., Возненко С.В., Клецька О.В., Барібін М.А. Математичне моделювання основних параметрів у тягових розрахунках // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології» 2020., №35. С.102-112.
- 2 Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей жеззнодорожного транспорта. Москва: УМК МПС России, 2010. 592 с.
- 3 Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа Москва: Дрофа, 2003. 703 с.

Селецький В. С., к.т.н., провідний інженер
ВП «Львівське відділення» філії «ГІОЦ»
АТ «Укрзалізниця»

УДК 683.1

РОЗШИРЕННЯ МЕРЕЖ ПЕТРІ. ВЛАСТИВОСТІ І АНАЛІЗ, ПЕРЕТВОРЕННЯ І ПРАВИЛА МАРКУВАННЯ ТА МОЖЛИВОСТІ ПОЗИЦІЙ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Для моделювання технологічних процесів різних інформаційних і транспортних систем, в тому числі і систем залізничного транспорту були розроблені

нововведення мереж Петрі (МП): $\diamond$ *виду дуги* – інгібіторна дуга n – го порядку; $\diamond$ *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 і $\diamond$ *виду переходу* – предикатний перехід.

Розширена мережа Петрі RN задається сукупністю із шести множин: $RN = (P, T, A, w, B, \bar{w})$, де P і T – скінченні, непорожні множини позицій і переходів;

$A = A^- \cup A^+$, де A^- і A^+ – множини орієнтованих дуг $ArcsI$ і $ArcsO$ (вхідних і вихідних), $A \subseteq P \times T \cup T \times P$; w – функція ваги для дуг $ArcsI$ і $ArcsO$, $w : A \rightarrow \{0, 1, 2, \dots\}$; B – множина інгібіторних дуг

n – го порядку $ArcsInh$, $B \subseteq P \times T$, $\bar{w}$ – функція ваги для дуг $ArcsInh$ МП, $\bar{w} : B \rightarrow \{0, -1, -2, \dots\}$ і $A \cap B = \emptyset$.

Маркована МП RM задається парою $RM = (RN, m_0)$, де:

$RN = (P, T, A, w, B, \bar{w})$ і $m_0 : P \rightarrow \{0, 1, \dots\}$.

Властивості і аналіз розширених мереж Петрі [1]. Нововведені елементи МП описані на математичній термінології, відображені за допомогою графічних інтерпретацій і продемонстровано їх використання на імітаційних підмережах.

Одна із імітаційних підмереж S_{Prk} , яка містить предикатну позицію k – го рівня наведена на рис. 1.

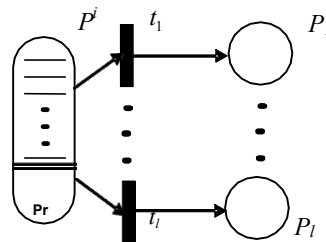


Рис. 1. Підмережа S_{Prk}

Предикатна позиція k – го рівня вирішує конфліктну ситуацію зпрацювання i – го переходу з l переходів, які виходять з даної позиції.

В підмережі S_{Prk} предикатна позиція k – го рівня P^i має початкове маркування $m(P^i) = (m_1, m_2, \dots, m_k)$, а позиції P_j , для $1 \leq j \leq l$ мають початкове маркування $m(P_j)$, для $1 \leq j \leq l$. В результаті запуску послідовності переходів: $t_{n_1}, t_{n_2}, \dots, t_{n_k}$ маркування підмережі M

будуть відповідно змінюватися на нові маркування $M', M'', \dots, M^{(k)}$.

Інакше, послідовність переходів: $t_{n_1}, t_{n_2}, \dots, t_{n_k}$ запуститься:

$$\begin{aligned}
 & (\exists t_{j_1} \in T, 1 \leq j_1 \leq j) \wedge (j_1 = n_1) \Rightarrow \\
 & (m(P^i) = (0, m_1, \dots, m_k)) \wedge (m'(P^i) = m(P^i)), \\
 & 1 \leq j_1 \leq j-1 \wedge (m(P^i) = m(P^i) + m_1^{j_1}) \wedge (m'(P^i) = \\
 & m(P_{j_2}), j_1 + 1 \leq j_2 \leq j), (\exists t_{j_2} \in T, 1 \leq j_2 \leq j) \\
 & \wedge (j_2 = n_2) \Rightarrow (m''(P^i) = (0, 0, m_3, \dots, m_k)) \wedge \\
 & (m''(P_{j_1}) = m'(P_{j_1}), 1 \leq j_1 \leq j_2 - 1) \wedge (m''(P_{j_2}) = \\
 & m'(P_{j_2}) + m_2) \wedge (m(P^i) = m'(P_{j_2}), j_2 + 1 \leq j_2 \leq j), \dots, \\
 & (\exists t_{j_k} \in T, 1 \leq j_k \leq j) \wedge (j_k = n_k) \Rightarrow \\
 & (m^{(k)}(P^i) = (0, 0, \dots, 0)) \wedge (m^{(k)}(P_{j_1}) = m^{(k-1)}(P_{j_1}), \\
 & 1 \leq j_1 \leq j_k - 1) \wedge (m^{(k)}(P_{j_k}) = m^{(k-1)}(P_{j_k}) + m_k) \wedge \\
 & (m^{(k)}(P_{j_2}) = m^{(k-1)}(P_{j_2}), j_k + 1 \leq j_2 \leq j).
 \end{aligned}$$

Перетворення розширених мереж Петрі в звичайні мережі Петрі [2]. На підставі проілюстрованих перетворень розширених підмереж Петрі в звичайні підмережі Петрі, які описані математичною мовою обґрунтовано практичне застосування нововведених розширень мереж Петрі, а також описані розширення мереж Петрі конструкціями операторів і процедур мов програмування (Borland Delphi, Borland C++ і інших).

На рис. 2 наведено перетворення розширеної підмережі S_p^p в звичайну підмережу S_3^p . В підмережі S_p^p використано предикатну позицію n -го порядку. Підмережа S_p^p , яка описана розширеною мережею

Петрі, задається:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & 2 & \dots & l \\ 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{і}$$

$m(P^1) = \langle n_1, m_1 \rangle, \langle n_2, m_2 \rangle, \dots, \langle n_k, m_k \rangle$, а підмережа S_3^p , яка описана звичайною мережею Петрі, задається:

$$P^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 & 2 & 2 & \dots & 2 & \dots & k & k & \dots & k \\ 1 & 2 & \dots & l & 1 & 2 & \dots & l & \dots & 1 & 2 & \dots & l \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & \dots & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{і}$$

$$m(P_i) = \langle n_i, m_i \rangle, \text{ де } 1 \leq i \leq k.$$

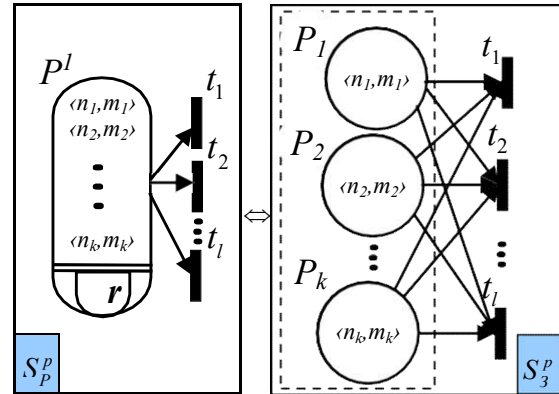


Рис 2. Підмережі S_p^p і S_3^p

Прикладом розширеної підмережі S_p^p є імітація моделі розформування складу поїзда на сортувальній гірці.

Таким чином, строгі математичні формулювання розширень мереж Петрі дають можливість коректно будувати моделі технологічних процесів інформаційних, транспортних і інших систем, а моделі, які побудовані за строгими правилами реально відображають технологічні процеси систем в динаміці.

Правила маркування та можливості позицій мереж Петрі [3]. Можливості позицій мереж Петрі розширилися, тому що розроблені правила доступу до маркувань вхідних і вихідних позицій після запускання переходів: - правило додавання фішок в вхідних позиціях; - правило вилучення фішок з вихідних позицій.

Це дає змогу формувати черги фішок (заявок) в позиціях мереж Петрі по аналогії, як створюються черги вимог в системах масового обслуговування.

Розроблені правила доступу до маркувань для вхідних і вихідних позицій n -го рівня: Правило **“FI-FO”**(перший прийшов-перший вийшов), ♦ Правило **“LI-FO”**(останній прийшов-перший вийшов), ♦ Правило **“RI-FO”**(випадково прийшов-перший вийшов), ♦ Правило **“FI-RO”**(перший прийшов-випадково вийшов) і ♦ Правило **“RI-RO”**(випадково прийшов- випадково вийшов) розширили можливості позицій мереж Петрі.

Правила доступу до маркувань вхідних і вихідних позицій n -го рівня описані на математичній термінології, відображені за допомогою графічних інтерпретацій і проілюстровано їх застосування на прикладах.

Список використаних джерел

1. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина II. Обґрунтування, властивості і аналіз // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2011. - № 6. – С. 31 – 36.

2. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина III. Перетворення мереж Петрі і програмування // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 20
3. Селецький В.С. Розширення мереж Петрі. Частина IV. Про маркування мереж Петрі // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті. - 2014. - №1. – С. 17 – 22.

*Ситнік Б. Т., к.т.н., доцент,
Бриксін В. О., к.т.н., доцент,
Ситник В. В., магістрант (УкрДУЗТ)*

УДК 004.2

МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ

Для управління рухомими об'єктами (РО) (роботи, дрони, локомотиви, авто- і авіатранспорт) з нелінійними і змінними параметрами, що функціонують в умовах впливу на них оточення (вітер, підйоми, ухили, радіуси траєкторій руху, перешкоди змінної інтенсивності), необхідна нелінійна корекція параметрів в налаштуваннях систем управління, формування заданих нелінійних траєкторій руху РО на ділянках руху, обмеження необхідної швидкості руху в уставці регулятора швидкості та ін. Часто виникає завдання пошуку оптимального шляху з декількох альтернатив при зайнятості інших шляхів лабіринту на ділянках руху. Тут необхідно визначити число ділянок прїзду, мінімально допустимий час переходу з початкової точки маршруту в кінцеву, динаміку процесу переходу або цифрову передатну функцію моделі створеного маршруту.

Застосування традиційних цифрових ПД-регуляторів [14] тут виявляється малоефективним, через велику кількість випадкових, хаотичних, нелінійних і нечітких змінних в правій частині диференціальних рівнянь регуляторів і фільтрів, які потрібно лінеаризувати і врахувати в знаходженні коренів характеристичних рівнянь замкнутої системи для оптимального налаштування регуляторів.

Застосування адаптації [14], штучних нейронних мереж (ШНМ), нечіткої логіки, нечіткого моделювання [2, 7-13] призводить до побудови моделей і систем, що дозволяють управляти об'єктами в ситуаціях, коли традиційні методи малоефективні через відсутність точних знань про об'єкт управління. В [1, 2] отримані аналітичні оцінки мінімально необхідного числа ділянок апроксимації кривої траєкторії руху другого порядку методом трапецій з гарантованою точністю. Для моделювання об'єктів інтелектуалізації, використовуються адаптивні [14], ситуаційні [8], нечіткі, нейронні і нейронечіткі моделі і регулятори [7- 12] і генетичні алгоритми [13]. Ефективність

методів нейронечіткого моделювання та управління зростає, якщо їх використовувати спільно з методами, заснованими на інтелектуальних машинах [8]. Дане коло робіт розглядається в роботах [2-14].

Створення перспективних заводостійких адаптивних моделей об'єктів інтелектуалізації повинне бути спрямоване на вдосконалення експлуатації засобів рейкового транспорту й використовувати ієрархічний принцип побудови, теорію складних систем, теорію керування й сучасні інформаційні технології, тобто системний підхід. З огляду на необхідність підвищення середньої швидкості РО, а також складність, нелінійність, нестаціонарність, багатofункціональність моделей об'єктів інтелектуалізації, невизначеність і нечіткість інформації, необхідно будувати такі системи на основі методів адаптивної фільтрації й адаптивного керування. Перспективні моделі об'єктів інтелектуалізації, наприклад, для магістрального залізничного транспорту, пропонується представити у вигляді дворівневої ієрархічної структури. Нижній рівень виконує безпосереднє керування РО. Він повинен містити контури цифрового керування РО (електропоїздами, електровозами, локомотивами й т.д.). Інформація для цих контурів керування формується на середньому рівні й зовнішнім середовищі. Середній рівень здійснює збір даних, візуалізацію, контроль і диспетчерське керування РО на полігонах залізниць. У результаті аналізу ситуацій на станціях і гірках формуються рекомендації про керування окремими РО, необхідні для раціональної організації процесу перевезень (ПП). Крім цього, цей рівень повинен формувати завдання в контури керування нижнього рівня.

Моделі підсистем керування середнього рівня доцільно формувати на основі графових структур, тому що вони наочно відображають географічний (топологічний) характер рейкової транспортної топології (полігони залізниць, залізничні вузли, пасажирські, товарні, сортувальні станції).

Перспективні моделі об'єктів інтелектуалізації повинні виконувати автоматизоване ведення графіків руху й на відміну від існуючих систем, які тільки задають обмеження швидкості на основі даних підсистем автоблокування, надавати рекомендації щодо раціональної швидкості РО.

База даних моделей об'єктів інтелектуалізації повинна включати: цифрову карту мережі залізниць;

цифровий опис планів станцій;

цифрові дані про стан (нечітка інформація) рейкової колії;

супутникову дислокацію РО (приблизну), дислокацію, що визначається по електронних пікетах (точну);

швидкість, що рекомендується диспетчерськими підсистемами на основі розподілу РО в результаті