

АЛГОРИТМ ВЫЯВЛЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ КОЛЛИЗИИ ЗАЦИКЛИВАНИЯ АКТИВНЫХ ПРАВИЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Я.С. Шлепнев, С.В. Шибанов, А.С. Гусаров

Научный руководитель С.В. Шибанов

*Пензенский государственный университет, г. Пенза,
Российская Федерация*

Одним из подходов к реализации непрерывной обработки событий и оперативного реагирования на их возникновение является интеграция потоковой обработки событий и механизма активных правил, представляемых в нотации ЕСА (Event-Condition-Action). В процессе непрерывной обработки входных потоков обнаруживаются события различного уровня абстракции, реакция на которые состоит в принятии решения по выработке управляющего воздействия за счет активации одного или нескольких правил.

В процессе выполнения ЕСА-правил могут возникать конфликты взаимодействия активных правил, в том числе, коллизия зацикливания, при которой правила последовательно активируют вызов друг друга, что приводит к их бесконечному вызову [1].

Разработка алгоритмов выявления коллизий исполнения активных правил зависит от способа представления систем активных правил и моделирования их взаимодействия. Исходя из концептуальных особенностей активных правил в качестве модели представления предлагается использовать условно раскрашенные сети Петри (CCPN) [2]. С целью сохранения информации о событии в маркерах и для создания новых маркеров, представляющих собой данные об активируемом действии активного правила, условно раскрашенная сеть Петри использует концепцию «окраски», заимствованную от раскрашенных сетей Петри. Данные, хранящиеся в маркерах, используются для вычисления условия правила, которому ставится в соответствие переход условно раскрашенной сети. Формально, условно раскрашенная сети Петри представляет собой кортеж из следующих элементов [3]:

$$CCPN = \{\Sigma, P, T, A, N, C, Con, Action, D, \tau, I\}, \quad (1)$$

где Σ — конечное множество «цветов»; P — конечное множество вершин; T — конечное множество переходов; A — конечное множество дуг; N — функция переходов, которая определяется из A и $P \times T \cup T \times P = NI \cup NO$; C — функция «цвета», которая определяется из P и Σ ; Con — функция условия, которая определяется либо как условие правила, если $t \in T_{rule}$, либо как временной интервал, если $t \in T_{comp}$; $Action$ — функция активации, которая порождает маркеры в зависимости от действия правила; D — функция временного интервала; τ — функция временной метки; I — функции инициализации.

Множество всех вершин P можно разделить на следующие подмножества:

$$P = P_{prim} \cup P_{comp} \cup P_{virtual} \cup P_{copy}, \quad (2)$$

где P_{prim} — множество вершин, соответствующих примитивным событиям; P_{comp} — множество вершин, соответствующих составным событиям, состоящих из элементарных событий и операций отрицания, последовательности, закрытия, истории и параллельности; $P_{virtual}$ — множество вершин, соответствующих составным событиям, состоящих из элементарных событий и операций конъюнкции и дизъюнкции; P_{copy} — множество вершин, соответствующих событиям, которые активируют два и более правил одновременно.

Множество всех переходов T можно разделить на следующие подмножества:

$$T = T_{rule} \cup T_{copy} \cup T_{comp}, \quad (3)$$

где T_{rule} — множество переходов, представляющих собой условия правил; T_{copy} — множество копий переходов; T_{comp} — множество составных переходов.

На рис. 1 приведен пример графического представления взаимодействующих активных правил с использованием CCPN.

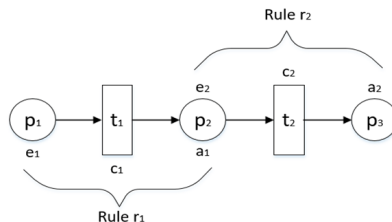


Рис. 1. Представление взаимодействующих активных правил в виде CCPN

Одним из подходов к описанию переходов в условно раскрашенной сети Петри является использование матриц инцидентности, которые указывают на наличие дуги от вершин к переходам [3]. Таким образом, в матрице инцидентности столбцы будут представлять собой события, а строки будут соответствовать условиям активных правил. Цикл в условно раскрашенной сети Петри представляет собой поочередный вызов условных переходов $t_{j1}, t_{j2}, \dots, t_{jk} \in T_{rule}$ — такой, что для каждой пары переходов t_{jr} и t_{jr+1} из этой последовательности существует вершина $p_{ir} \in P$ — такая, что $p_{ir} \in NO(t_{jr})$ и $p_{ir} \in NI(t_{jr+1})$ [4]. Каждое событие из набора событий $e_1, \dots, e_n \in E$ представляется в виде вершины условно раскрашенной сети $p_i \in P$, $i = 1 \dots n$, где n — количество событий. Каждое условие из набора условий $con_1, \dots, con_k \in Con$ представляется в виде перехода условной раскрашенной сети $t_j \in T_{rule}$, $j = 1 \dots k$, где k — кол-во условий [5]. Имеем для примера следующий набор правил:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= \langle e_2, c_1, e_1 \rangle; \\
 r_2 &= \langle e_4, c_2, e_7 \rangle; \\
 r_3 &= \langle e_6, c_3, e_4 \rangle; \\
 r_4 &= \langle e_3, c_4, e_9 \rangle; \\
 r_5 &= \langle e_1, c_5, e_6 \rangle; \\
 r_6 &= \langle e_2, c_5, e_6 \rangle.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Графическое представление сети Петри для примера будет выглядеть следующим образом (рис. 2).

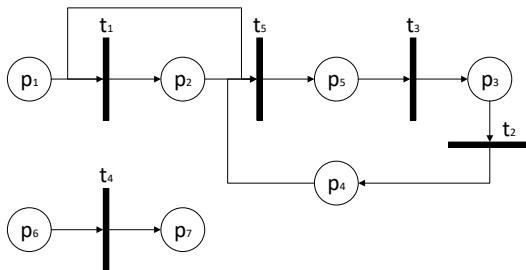


Рис. 2. Пример сети Петри для указанного набора правил

Матрица инцидентности W^+ используется для описания функций переходов $NI = P \cdot T$ в условно раскрашенной сети Петри (табл. 1).

Таблица 1

Матрица инцидентности функций переходов NI для примера

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
t_1	1	0	0	0	0	0	0
t_2	0	0	1	0	0	0	0
t_3	0	0	0	0	1	0	0
t_4	0	0	0	0	0	1	0
t_5	0	1	0	1	0	0	0

Матрица инцидентности W – используется для описания функций переходов $NO = T \cdot P$ в условно раскрашенной сети Петри (табл. 2).

Таблица 2

Матрица инцидентности функций переходов NO для примера

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7
t_1	0	1	0	0	1	0	0
t_2	0	0	0	1	0	0	0
t_3	0	0	1	0	0	0	0
t_4	0	0	0	0	0	0	1
t_5	0	0	0	0	1	0	0

Алгоритм выявления заикливания основан на рекурсивном анализе функций переходов условно раскрашенной сети Петри, представленных в виде матричной структуры (рис. 3).

Алгоритм может применяться как на этапе конструирования, так и на этапе исполнения активных правил.

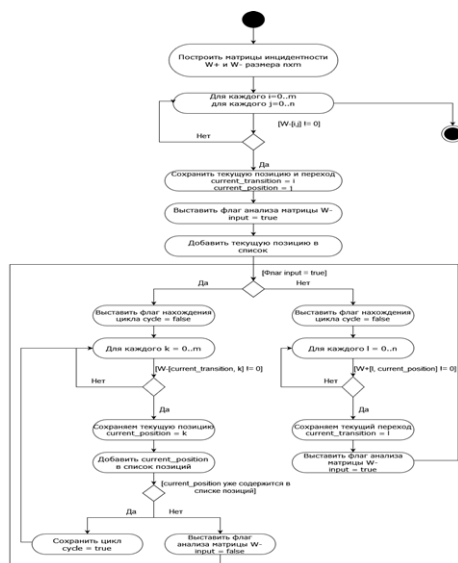


Рис. 3. Алгоритм выявления закликивания активных правил

Список использованных источников

1. Шлепнев Я. С., Шибанов С. В. Стратегии решения проблем исполнения активных правил в системах потоковой обработки событий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сборник статей по материалам IX Всерос. науч.-практ. конф. / ред. Л. Р. Фионова. Пенза, 2022. С. 99–103.
2. Jensen K., Kristensen L. M. Coloured Petri Nets : Modelling and Validation of Concurrent Systems. Dordrecht [et al.] : Springer, 2009. 384 p.
3. A Petri net model for an active database simulator / J. Medina-Marin, X. Li, J. R. Corona-Armenta [et al.] // 20th European Modeling and Simulation Symposium (EMSS 2008) / Eds.: A. Bruzzone [et al.]. Red Hook, 2008. P. 431–437.
4. Воевода А. А., Рева И. Л., Романников Д. О. Сворачивание циклов в сетях Петри // Научный вестник НГТУ. 2015. № 4. С. 152–158.
5. Cano J., Delaval G., Rutten E. Coordination of ECA rules by coordination and control // Coordination Models and Languages : 16th IFIP WG 6.1 International Conference, COORDINATION 2014 : Proceedings / Eds.: E. Kühn, R. Pugliese. Heidelberg [et al.], 2014. P. 33–48. (Lecture Notes in Computer Science ; vol. 8459).