

УДК 005.591.6; 004

АВТОМАТИЗАЦИЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЕТВЛЕНИЙ В МОДЕЛЯХ ПРОЦЕССОВ

О.С. Крюков

Рассматривается проблема определения ветвлений в моделях процессов. Предложена методология автоматизации выявления ветвлений с использованием расширенных сетей Петри.

Ключевые слова: сети Петри, анализ, производственный процесс, структура процесса, ветвления.

Автоматизация процесса анализа и оптимизации существующих или разрабатываемых процессов на предприятиях представляет важную задачу, так как позволяет облегчить выполнение объемных работ по учету множества зависимостей и условий. Но сами процессы представляют собой совокупность взаимосвязанных операций, формирующих сложные нелинейные структуры. Следовательно, перед началом процесса оптимизации и перестроения модели процесса, следует провести структурный анализ, имеющий целью однозначное определение наличия и положения нелинейных структур.

Одной из подобных структур является ветвление, представляющее собой реализацию различных вариантов процесса в зависимости от условия. Каждый вариант действий в ветвлениях может рассматриваться как отдельный подпроцесс и анализироваться отдельно. В этой связи необходимо разработать методы выявления ветвлений, что позволит в дальнейшем производить их оптимизации.

Наиболее оптимальным вариантом построения модели процесса представляется использование сетей Петри [8], так как они обладают математическим аппаратом позволяющим рассматривать в динамике различные стороны процесса, а также выполнять его модификацию, в том числе при помощи внедрения параллельности.

Применению теории сетей Петри и их модификаций для формирования модели процесса посвящены многие работы: иерархические раскрашенные временные сети [1], объектно-ориентированные сети [2], нечеткие стохастические сети [3], вложенные сети [4-6], в том числе и раскрашенные временные [7] и прочие

Но данные работы не предполагают применения в модели процесса информации о информационных и материальных потоках, необходимых для его осуществления. Следовательно, необходимо применять такое расширение сетей Петри, как СП с семантическими связями [8-11].

Определение наличия ветвлений в сети Петри не представляет собой сложную задачу, так как достаточно обнаружить позицию, имеющую несколько дуг, ведущих в разные переходы. Сложность представляет определение уникальных путей, представляющих собой ветви ветвления, и точку пересечения этих ветвей – завершение ветвления.

Как правило анализ ветвлений в сетях Петри производится для верификации временных СП и моделях branching-процессов [12-15]. При подобном анализе выполняется проверка достижимости позиций в подобных сетях без необходимости использования информации в дальнейшем анализе. Следовательно, существует необходимость в разработке метода определения структуры ветвления.

Расширенные сети Петри с семантическими связями. Простейшая расширенная сеть Петри с семантическими связями (РСПСС) может задаваться следующим множеством:

$$\Pi = \{A, \{Z^C, \tilde{R}^C, \hat{R}^C\}, \{Z^S, \tilde{R}^S, \hat{R}^S\}\},$$

где A – конечное множество позиций; Z^C – конечное множество переходов по управлению; \tilde{R}^C – матрица смежности, отображающая множество позиций в множество переходов по управлению; \hat{R}^C – матрица смежности, отображающая множество переходов по управлению в множество позиций; Z^S – конечное множество переходов по семантическим связям; \tilde{R}^S – матрица смежности, отображающая множество позиций в множество переходов по семантическим связям; \hat{R}^S – матрица смежности, отображающая множество переходов по семантическим связям в множество позиций.

Кроме того, задаются следующие функции переходов: $I_A(Z^C)$ и $O_A(Z^C)$ – входная и выходная функция переходов по управлению соответственно; $I_A(Z^S)$ и $O_A(Z^S)$ – входная и выходная функция переходов по семантическим связям соответственно.

Между позициями сети выполняется отношение предшествования по управлению. Позиция a_i считается предшествующей по управлению для a_j (задается как $a_i <_C a_j$), если существует такой путь по управлению из стартовой позиции процесса a_S в позицию a_j , что он включает в себя позицию a_i .

Структуры РСПСС. В модели процесса, построенной в соответствии с определением РСПСС, можно выделить следующие структуры по управлению:

линейный участок:

$$Ln = \{a_{i(a)}\}, |Ln| \geq 1;$$

цикл:

$$C = \{a_{cB}, (a_{cond}, a_{out}), Cp\},$$

где a_{cB} – начальная позиция, a_{cond} – условие, a_{out} – внешняя позиция, в которую передается управление из цикла, Cp – тело цикла;

ветвление:

$$Br = \{a_{xB}, \{B_{x1}, \dots, B_{xn}\}, a_{xe}\},$$

где a_{xB} – начальная позиция ветвления, B_{xi} – ветви ветвления, a_{xe} – конечная позиция ветвления.

Ветвление характеризуется наличием условия, описывающем варианты действий согласно его результату, причем количество таких вариантов может варьироваться от 2 до n . Каждая ветвь может содержать последовательность линейных участков, ветвлений и циклов.

Для начальной позиции ветвления выполняется следующее правило:

$$\begin{aligned} |Z_{Oi}^C| > 1 \forall z_{i(z^C)}^C \in Z_{Oi}^C (I_A(z_{i(z^C)}^C) = a_{xB}) \wedge \neg \exists C_i (a_{cB} = a_{xB}) \wedge \\ \neg \exists z_{j(z^C)}^C \in Z_{Oi}^C (O_A(z_{j(z^C)}^C) = a_{i(a)}) | a_{i(a)} <_C a_{xB}. \end{aligned} \quad (1)$$

Так как внутри ветвей могут находиться другие ветвления, то вложенность ветвлений также можно разделить на два типа:

простая вложенность (рис. 1а):

$$\exists Br_{i(Br)} (\exists Br_{j(Br)} (Br_{j(Br)} \in Bx_{k_{i(Br)}} \wedge a_{xe_{i(Br)}} \neq a_{xe_{j(Br)}}));$$

завершающая вложенность (рис. 1, б)

$$\exists Br_i(Br)(\exists Br_j(Br)(Br_j(Br) \in Bx_{k_i(Br)} \wedge a_{xe_i(Br)} = a_{xe_j(Br)})).$$

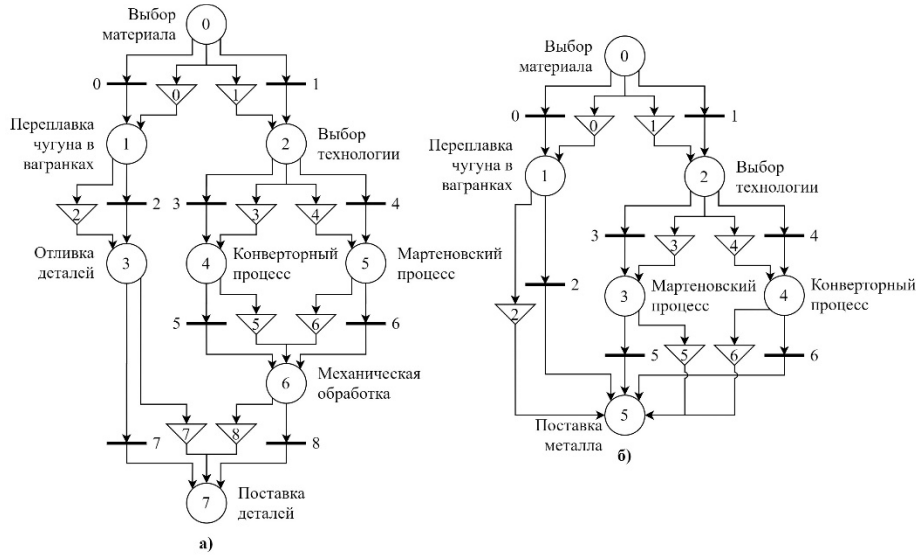


Рис. 1. Примеры вложенности ветвлений:
а – простая вложенность; б – завершающая вложенность

Выявление ветвлений РСПСС. Для выявления ветвлений в РСПСС необходимо сначала построить модель процесса на основе связей по управлению, а также определить стартовую позицию сети и начальные позиции циклов, что при поиске начальных позиций ветвлений, в соответствии с (1), позволит отсеять позиции, являющиеся началом циклов с предусловием, и внешние позиции циклов.

Для заполнения ветвлений следует выполнить действия, описанные ниже, со следующими обозначениями:

$Br_i(Br)$ – рассматриваемое ветвление;

$Bx_{i_i(Br)}$ – рассматриваемая ветвь;

pl – множество позиций, начинающих ветви ветвления $Br_i(Br)$;

p – рассматриваемая позиция;

Ln – формируемый линейный участок;

Z_l – множество переходов, ведущих в p ;

pr – следующая рассматриваемая позиция;

Z_{ln} – множество переходов, ведущих в pr .

Алгоритмы выполняются для каждой ветви еще не рассмотренных ветвлений.

Алгоритм

АнализВетвления($Br_i(Br)$)

Начало

$$pl = \{a_i(a)\} \mid \exists z_{i(Z^C)}^C (IA(z_{i(Z^C)}^C) = a_{xB_i(Br)} \wedge OA(z_{i(Z^C)}^C) = a_i(a));$$

for $i = 0$ to $i < |pl|$ by $i++$ do

$$a_{xe_i(Br)} = \text{АнализВетви}(Bx_{i_i(Br)}, pl_i, \emptyset);$$

end

Конец.

Алгоритм

АнализВетви($Bx_{i(Br)}$, p , Ln)

Результат: Завершающая позиция ветвления.

Начало

$Z_I = \{z_{i(Z^C)}^C\} | O_A(z_{i(Z^C)}^C) = p \wedge \forall a_{i(a)} \in I_A(z_{i(Z^C)}^C)(a_{i(a)} <_C p)$;

if $|Z_I| > 1$ then

if $|Ln| \neq \emptyset$ then

$Bx_{i(Br)} = Bx_{i(Br)} \cup Ln$;

end

return p ;

end

if $\exists Br_{j(Br)}(a_{xB_{j(Br)}} = p)$ then

$Bx_{i(Br)} = Bx_{i(Br)} \cup Br_{j(Br)}$;

if $a_{out_{j(Br)}} = \emptyset$ then

АнализВетвления($Br_{j(Br)}$);

end

$np = a_{xe_{j(Br)}}$;

if $|Ln| \neq \emptyset$ then

$Bx_{i(Br)} = Bx_{i(Br)} \cup Ln$;

end

$Z_{In} = \{z_{i(Z^C)}^C\} | O_A(z_{i(Z^C)}^C) = np \wedge \forall a_{i(a)} \in I_A(z_{i(Z^C)}^C)(a_{i(a)} <_C np)$;

if $|Z_{In}| > |Bx_{j(Br)}|$ then

return np ;

else

return *АнализВетви*($Bx_{i(Br)}$, np , \emptyset);

end

end

if $\exists C_{i(C)}(a_{cB_{i(C)}} = p)$ then

$Bx_{i(Br)} = Bx_{i(Br)} \cup C_{i(C)}$;

$np = a_{out_{i(C)}}$;

if $|Ln| \neq \emptyset$ then

$Bx_{i(Br)} = Bx_{i(Br)} \cup Ln$;

end

return *АнализВетви*($Bx_{i(Br)}$, np , \emptyset);

end

$Ln = Ln \cup p$;

$$np = a_{i(a)} \mid \exists z_{i(Z^C)}^C (I_A(z_{i(Z^C)}^C) = p \wedge O_A(z_{i(Z^C)}^C) = a_{i(a)});$$

return АнализВетви($Bx_{i(Br)}$, np , Ln);

Конец.

Данный метод определения ветвлений позволит практически без участия человека определить в сети наличие ветвлений и их структуру, что в дальнейшем позволит облегчить преобразование сети за счет возможности рассмотрения каждого ветвления как отдельной подсети.

Заключение. Предложенный в работе метод анализа расширенной семантическими связями сети Петри на предмет наличия ветвлений может применяться в ходе оптимизации производственных процессов. Информация, полученная в результате применения описанного алгоритма, позволит эффективнее выполнить преобразование модели процесса, что в свою очередь позволит более эффективно распределять имеющиеся у предприятия ресурсы на этапе планирования модернизации производства или при разработке новых проектов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-1160.2020.9.

Список литературы

1. Westkämper E., Schmidt T., Wiendahl H. H. Production planning and control with learning technologies: Simulation and optimization of complex production processes // Knowledge-based systems. Academic Press, 2000. С. 839-887.
2. Седых И.А., Анисеев Е.С. Представление цементного производства иерархическими раскрашенными временными сетями Петри на основе окрестностных моделей // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2017. № 1.
3. Dong M., Chen F. F. Process modeling and analysis of manufacturing supply chain networks using object-oriented Petri nets // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2001. Т. 17. № 1-2. С. 121-129.
4. Wang J. et al. Modelling a remanufacturing reverse logistics system using fuzzy stochastic Petri net // International Journal of Industrial and Systems Engineering. 2015. Т. 19. № 3. С. 311-325.
5. Ломазова И. А. Вложенные сети Петри и моделирование распределенных систем // Труды международной конференции «Программные системы: теория и приложения», Переславль-Залесский. М.: Физматлит. 2004.
6. Van Hee K. M. et al. Nested nets for adaptive systems // International Conference on Application and Theory of Petri Nets. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. С. 241-260.
7. Zhang L., Rodrigues B. Nested coloured timed Petri nets for production configuration of product families // International journal of production research. 2010. Т. 48. №. 6. С. 1805-1833.
8. А.Г. Волошко, А.Н. Ивутин, О.С. Крюков. Методы моделирования и анализа производственных процессов для разработки стратегии модернизации предприятия // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. Вып. 12. С. 36-43.
9. Ivutin A.N., Troshina A.G., Semantic Petri-Markov nets for automotive algorithms transformations // 2018 28th International Conference Radioelektronika (RADIOELEKTRONIKA). IEEE, 2018. С. 1-6.
10. Ивутин А.Н., Трошина А.Г. Метод формальной верификации параллельных программ с использованием сетей петри. // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета 70 (2019). 2019. С. 15-26.

11. Волошко А.Г., Крюков О.С. Extended Petri Nets Based Approach for Simulation of Distributed Manufacturing Processes // The 9th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO 2020). 2020. С. 508-511.
12. Bernard Berthomieu, François Vernadat. State Class Constructions for Branching Analysis of Time Petri Nets // Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems. 2003.
13. Finkbeiner B., Gieseke M., Hecking-Harbusch J., Olderog ER. Model Checking Branching Properties on Petri Nets with Transits // Automated Technology for Verification and Analysis. 2020.
14. Pedro M. Gonzalez del Foyo, Jose Reinaldo Silva. Using time Petri nets for modeling and verification of timed constrained workflow systems // ABCM Symposium Series in Mechatronics. Vol. 3. 2008. С. 471-478.
15. Boubour, R., Jard, C. Fault detection in telecommunication networks based on a Petri net representation of alarm propagation Application and Theory of Petri Nets 1997. С. 367–386.

Крюков Олег Сергеевич, студент, ol_kryukov97@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

AUTOMATION OF DETECTION OF BRANCHINGS IN PROCESS MODELS

O.S. Kryukov

The problem of defining branches in process models is considered A methodology for automating branch detection using extended Petri nets is proposed.

Key words: Petri nets, manufacturing process, process structure, analysis, branchings.

Kryukov Oleg Sergeevich, student, ol_kryukov97@mail.ru, Russia, Tula, Tula State University

УДК 004.94; 331.45

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫБОРА МЕСТА УСТАНОВКИ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.А. Шишкина

Рассматривается вопрос о выборе оптимального месторасположения поточного климатического оборудования в помещении. Проводится компьютерное моделирование климатических условий в помещении с обоснованием выбора расположения климатических установок.

Ключевые слова: охрана труда, аналитический метод, компьютер, помещение, промышленность, температура, климатические условия.

Климатическое оборудование в помещениях промышленного назначения, как и в любых других помещениях, где работают люди или установлено оборудование требующее определенных температурных и другие климатические режимы. К такому оборудованию можно отнести любое, имеющее электронную начинку. Данному оборудованию необходима поддержка невысокой температуры в комнате, иначе охлаждение