УДК 004:519.95

МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

MODELING WITH THE APPLICATION OF INTEGRATED STOCHASTIC PETRI NET

Гусейнзаде Ш.С.,
Сумгаитский государственный университет,
г. Сумгаит, Азербайджанская республика

Sh.S. Huseynzade,
Sumgait State University, Sumgait, Republic of Azerbaijan

e-mail: shahla.huseynzade@gmail.com

Аннотация. В статье вводятся расширения структуры и поведения стохастических сетей Петри (ССП) для удобства решения конкретных задач моделирования интеллектуального управления динамических систем. Описаны наиболее распространенные классы ССП, проведено их сравнение и определены недостатки. В некоторых классах заданы вероятностные показатели только маркировок, в других разработках заданы вероятностные показатели только переходов. Недостатком является то, что не учитывается совместимость множества параметров и характеристик, которых отражают вероятностные показатели структурных компонент, таких как функции инцидентностей, позиции, переходы, маркировки и дуги. Эти недостатки существенно ограничивают возможности исследователя. С целью преодоления этих проблем сформирована интегрированная ССП на основе представленных типов. Разработан алгоритм функционирования интегрированной ССП.

На примере модуля в гибкой производственной системе разработана модель процесса возникновения и устранения неисправностей в технической системе в виде графа СП. На основе известных статистических данных об интенсивностях возникновения отказов и длительностях операций поиска неисправностей, замены и ремонта отказавшего блока, формированы структурные элементы СП со стохастическими параметрами.

При компьютерной реализации алгоритма получено последовательность срабатываемых переходов и изменения маркировки графа. Модель интегрированной ССП разрешает конфликтные ситуации и предотвращает тупиковые состояния.

Abstract. The article introduces extensions of the structure and behavior of stochastic Petri net (SPN) for the convenience of solving specific problems of intelligent control modeling of dynamic systems. The most common classes of SPN are described, compared and deficiencies are identified. In some classes only probabilistic indicators of markings are given, in other developments only probabilistic indicators of transitions are given. The disadvantage is that there is not taken into account the compatibility of the set of parameters and characteristics, which reflect probabilistic indicators of structural components, such as incidence functions, positions, transitions, markings and arcs. These shortcomings significantly limit the ability of the researcher. In order to overcome these problems, an integrated SPN was formed on the basis of the types presented. The algorithm of functioning of the integrated SPN is developed.

Using the example of a module in a flexible production system, a model has been developed for the process of occurrence and elimination of faults in a technical system in the form of a PN graph. On the basis of known statistics on failure rates and durations of troubleshooting operations, replacement and repair of a failed unit, structural elements of the PN with stochastic parameters are formed.

With the computer implementation of the algorithm, a sequence of triggered transitions and changes in the marking of the graph are obtained. The integrated SPN model resolves conflict situations and prevents dead-end states.

Ключевые слова: стохастические сети Петри; вероятность маркировок; множество переходов; вектор распределения; функции инцидентностей; начальная маркировка; тупиковые ситуации.

Keywords: stochastic Petri net; labeling probability; the set of transitions; distribution vector; incidence functions; initial labeling; dead-end states.

Аппарат ССП позволяет построить модель интеллектуального управления динамических систем, в котором на структуру накладываются стохастические параметры и логические условия взаимодействия процессов. К отдельным структурным элементам как позиции, переходы, дуги, маркеры можно присвоить стохастические параметры. В том числе переходам ССП сопоставляются условные вероятности их срабатывания.

В настоящее время имеется много расширений ССП. Например, разработаны ССП с непрерывным и дискретным временем, разными типами временных задержек переходов, приоритетами и ингибиторными дугами[1, 2]. Так, в [3] определен класс обобщенных ССП с экспоненциально распределенной задержкой. Время может располагаться в позициях, метках, дугах и/или переходах.

Для SimNet время устанавливается в переход [4].

Имеются также другие расширения структуры и поведения ССП для удобства решения конкретных задач моделирования.

Стохастические сети Петри [5] определяются парой $M_s = (c, \mu^s)$, где, $c=(P,T,I,O)$ описывает структуру сети ($P=\{p_1,p_2,...,p_n\}$, $n>0$ – конечное непустое множество позиции $T=\{t_1, t_2,...,t_m\}$, $m>0$ – конечное непустое множество переходов; $I{:}P\times T\rightarrow(0,1,...)$; $O{:}T\times P\rightarrow(0,1,...)$ – соответственно функции входных и выходных вмешательств), а отображение $\mu^s : P \rightarrow V_s=[0,1]$ присваивает каждой позиции вектор распределения вероятностей наличия фишек $\mu^s(p_i)$.

В этой разработке заданы вероятностные показатели маркировок. Недостатком этой разработки является то, что не учитывается множество параметров, показателей и характеристик, которых отражают вероятностные показатели структурных компонент, таких как функции инцидентностей позиции, переходы, дуги.

Непрерывно-временная ССП эта пятерка N = (P, T, W, Ω, M), где: (P ,T, W, M) – непомеченная *СП;* $\Omega : T \rightarrow IR_+$ – функция *темпов* переходов; $P=\{p_1, p_2,\ldots,p_n\}$, $T=\{t_1, t_2,\ldots,t_m\}$, $n>0$, $m>0$ – конечные непустые множества позиций переходов соответственно; $(P\cup T)\neq\varnothing$ *и* $P\cap T=\varnothing$); $W{:}(P\times T)\cup(T\times P)\rightarrow IN$ – функция весов дуг между местами и переходами и наоборот; μ – начальная маркировка *[3].*

В этой разработке заданы вероятностные показатели переходов. Недостатком этой разработки является то, что не учитывается вероятностные показатели маркировок, функций инцидентностей, дуг.

В существующих модификациях ССП стохастические параметры одновременно применены только одному из структурных элементов, что существенно ограничивает возможности исследователя.

Учитывая сложность реальных систем, параллелизм процессов, взаимные синхронизации и блокировки и множество вероятностных параметров появляется необходимость расширения выразительных средств моделирования, что делает необходимым разработку новых модификаций ССП и усовершенствованию существующих, в которых стохастические параметры одновременно применены к нескольким структурным элементам.

В связи с этим появляется необходимость разработки новых модификаций приводящих к интеграции ССП. В статье представляется разработанная модификация, приводящая к интеграции вышепоказанных видов ССП, в которой стохастические параметры применены к двум структурным элементам одновременно – переходам и маркерам в позициях. Модификация названа как интегрированная ССП и сформирована как нижеследующая:

Интегрированная стохастическая сеть Петри определяется пятеркой

$$N_S^I = (P, T, W, \Omega, \mu^s),$$

где, $P=\{p_1,p_2,...,p_n\}$,

$n>0$ – конечное непустое множество позиций;
$T=\{t_1, t_2, \ldots, t_m\}$, $m>0$ – конечное непустое множество переходов;
$W:(P\times T)\cup(T\times P)\rightarrow N$ – функция весов дуг между местами и переходами и наоборот (N – натуральные числа;
$I:P\times T\rightarrow(0,1,\ldots)$; $O:T\times P\rightarrow(0,1,\ldots)$ – соответственно функции входных и выходных вмешательств);
$\Omega: T\rightarrow IR_+$ – функция темпов переходов;
($IR_+=[0;\infty)$ – непрерывная временная шкала), а отображение $\mu^s:P\rightarrow V_s=[0,1]$ присваивает каждой позиции вектор распределения вероятностей наличия фишек $\mu^s(p_i)$.

Неопределенность наличия фишек описывается векторами распределения вероятностей каждой позиции. Перераспределение наличия фишек отражается в длине и компонентах векторов распределения. Определение элементов вектора распределения с вычислительной точки зрения вызывает некоторые трудности при считывании функции темпов (скоростей) переходов и времени пребывания в маркировке. С целью преодоления этой проблемы разработан алгоритм вычисления вероятности срабатывания, времени пребывания в маркировке разрешенного перехода и элементов вектора распределения вероятностей при изменении маркировки, после срабатывания перехода. Разработанный алгоритм состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Создание матрицы входных и выходных инциденций и темпов переходов:

$$F=\{h_{ij}\},\ H=\{h_{ji}\},\ \Omega=\{\theta_j\},$$

где $i=\overline{1,n}$, $j=\overline{1,m}$.

Шаг 2. Создание начальной маркировки:

$$\mu=\{\mu_i\},\ i=\overline{1,n},$$

где $\mu_i=(\mu_{i0},\mu_{i1},\ldots,\mu_{ik_i})$ – вектор распределения вероятностей i-ой позиции.

Шаг 3. Определение матрицы:

$$K=\{k_i\},\ i=\overline{1,n},$$

где k_i – длина вектора распределения вероятностей i-ой позиции.

Шаг 4. Определение матрицы:

$$S=\{s_c\},$$

где $c=\overline{0,m}$ для фиксации номеров разрешенных переходов.

Шаг 5. Поиск разрешенного перехода:

а) выбираются все $f_{ij}\neq 0$, при $i=\overline{1,n}$;

б) для каждого фиксированного i должен быть $\exists\mu_{ik}\neq 0$, при $k=\overline{f_{ij},k_i}$, т.е.

$$\sum_{k=f_{ij}}^{k_i}\mu_{ik}\neq 0.$$

Шаг 6. Если для перехода t_j условие срабатывания выполняется, фиксируется номер этого разрешенного перехода: $c=c+1$; $s_c=j$;

Шаг 7. Индекс j увеличивается на единицу: $j=j+1$. При $j \le m$ осуществляется переход к пункту а) шага 5, в противном случае если с=0, то выводится сообщение о тупиковом состоянии, завершается поиск и осуществляется переход к пункту 16.

Шаг 8. Выбор перехода t_j с наибольшим темпом θ_j среди фиксированных переходов, при $j=s_i$, где $i = \overline{1,c}$;

Шаг 9. Вычисление вероятности срабатывания разрешенного перехода t_j *в* маркировке μ_i:

$$PF(t_j) = \frac{\theta_j}{\sum_{i=1}^{c} \theta_{s_i}}$$

Шаг 10. Вычисление среднего времени пребывания в маркировке μ_i:

$$SJ(t_j) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{c} \theta_{s_i}}.$$

Шаг 11. Формирование вектора распределения вероятностей каждой входной позиции после срабатывания перехода t_j:

а) вычисление нулевой компоненты вектора распределения вероятностей:

$$\mu'_{i0} = \sum_{\alpha=0}^{f_{ij}} \mu_{i\alpha}.$$

б) вычисление остальных компонент вектора распределения вероятностей:

$$\mu_{i\beta} = \mu_{i,\beta} + f_{ij}, \beta = 1,2,..., k_i - f_{ij}.$$

в) при запуске перехода t_j размерность вектора распределения вероятностей каждой входной позиции уменьшается по числу входных дуг: $k_i=k_i-f_{ij}$.

Шаг 12. Формирование вектора распределения вероятностей каждой выходной позиции после срабатывания перехода. Этот вектор равен вектору диагональной свертки матрицы Грама исходного выходного вектора и промежуточного вектора

$$r = (r_{0,} r_{1,} ..., r_{h_{jk}})$$ [6]:

а) выбор всех $h_{jz} \neq 0$, при $z = \overline{1,n}$;

б) вычисление последней компоненты вектора r:

$$r_{h_{jz}} = \prod_i \sum_{\alpha=f_{ij}}^{k_i-1} \mu_{i\alpha},$$

для всех фиксированных i, при $f_{ij} \neq 0$;

в) вычисление нулевой компоненты: $r_0 = 1 - r_{h_{jz}}$;

г) вычисление остальных компонент:$r_i=0$, $i=\overline{1,h_{jz}-1}$.

Вычисление элементов этого вектора по формуле :

$$d_\ell = \sum_{k+i=\ell} \mu_{zk} r_i \ ,$$

при $k=\overline{0,k_z}$, $i=\overline{1,h_{jz}}$.

Шаг 13. Размерность вектора распределения увеличивается по числу h_{jz}:

$$k_z=k_z+h_{jz}.$$

Шаг 14. Формирование вектора $\mu'_z=\{\mu'_{z0}\,\mu'_{z1}\ldots\mu'_{kz}\}$ распределения вероятностей выходной позиции p_z:

$$\mu'_{zk}=d_k, k=\overline{0,k_z} \ .$$

Шаг 15. По выбору пользователя или процесс продолжается и осуществляется переход к шагу 5, или процесс останавливается и осуществляется переход к шагу 16.

Шаг 16. Конец.

Рассмотрим на примере модель функционирования модуля в гибкой производственной системе. Требуется моделировать процессы возникновения и устранения неисправностей в технической системе. Известны статистические данные об интенсивностях возникновения отказов и длительностях таких операций как поиск неисправностей, замена и ремонт отказавшего блока.

С целью разработки модели функционирования представленного модуля с применением интегрированной ССП, соответственно к этапам формирования СП определяются основные структурные элементы.

Позиции:

P_1 – имеются неисправные блоки; P_2 – в системе имеются число = m блоки;

P_3 – обнаружен неисправный блок; P_4 – имеются запасные блоки, число = n;

P_5 – восстанавливается блок; P_6 – поисковая система свободна;

P_7 – восстановляющая система свободна.

Переходы:

t_1 – отказ блока; t_2 – поиск неисправного блока;

t_3 – замена блока; t_4 – окончание восстановления блока.

Случайным может быть число неисправных блоков, темпы поиска неисправных блоков и восстановление блоков. При срабатывании перехода в ССП в определенный момент времени фишки изымаются из входных позиций перехода и мгновенно помещаются в выходные. Каждому переходу $t \in T$ сопоставляется темп $\Omega(t)$, являющийся параметром экспоненциального распределения.

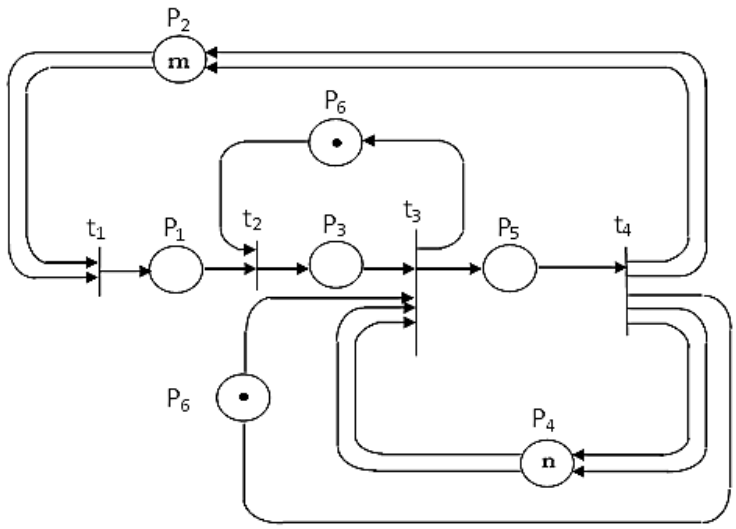

Рисунок 1. Граф СП модуля ГПС

В рассмотренном примере имеются позиции $P=\{p_1, p_2,\ldots,p_7\}$ и переходы $T=\{t_1, t_2, t_3,t_4\}$.

Функции входной и выходной инцидентности представляются соответственно матрицами F и H [7]:

$$F=\begin{bmatrix}0&1&0&0\\3&0&0&0\\0&0&1&0\\0&0&3&0\\0&0&0&1\\0&1&0&0\\0&0&1&0\end{bmatrix},\qquad H=\begin{bmatrix}1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&1&0\\0&3&0&3&0&0&1\end{bmatrix}.$$

Матрица темпов переходов $\Omega=\{\theta_j\}$, где $j=\overline{1,m}$ представляется вектором: (0.50 0.20 0.20 0.10).

Начальная маркировка $\mu_0 =(\mu_{0,1};\ \mu_{0,2};\ \mu_{0,3};\ \mu_{0,4};\ \mu_{0,5};\ \mu_{0,6};\ \mu_{0,7})$ представляется векторами: μ(0,1) = (0.00 1.00); μ(0,2) = (0.00 0.00 0.00 1.00); μ(0,3) = (0.00 1.00); μ(0,4) = (0.00 0.40 0.40 0.20); μ(0,5) = (0.00 1.00); μ(0,6) = (1.00 0.00); μ(0,7) = (1.00 0.00).

При компьютерной реализации алгоритма получена последовательность событий в виде срабатываемых переходов $\delta =(t_1,\ t_2\ ,\ t_3\ ,\ t_4)$ *и* изменения маркировки графа. Алгоритм разрешает конфликтные ситуации и предотвращает тупиковые состояния в интегрированной ССП.

Выводы

На разработанной модели можно отрабатывать принципы управления, соответствующие ситуациям, выявлять недостатки, тупиковые состояния и вносить корректировки.

Потенциальные области применения разработанного подхода можно найти при моделировании когнитивных процессов, при проектировании интеллектуального управления динамических систем со стохастическим характером параметров.

Литература

1. Florin G., Natkin S. Les reseaux de Petri stochastiques // Technique et Science Informatique. 1985. Vol. 4, N 1. P. 143-160.
2. Е.В. Ларкин, А.Н. Ивутин, Д.С. Костомаров. Методика формирования сети петри-маркова для моделирования когнитивных технологий. Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч.1.
3. Тарасюк И. В. Стохастические сети Петри – формализм для моделирования и анализа производительности вычислительных процессов. Системная информатика. 2004, Вып. 9. Стр. 135-194. http://itar.iis.nsk.su/files/itar/pages/spnsinf.pdf
4. Kurt Jensen and Andreas Podelski. Tools and algorithms for the construction and analisys of systems. International Journal on Software Tools for Technology. Volume 8, Issue 3, June 2006, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
5. А.А. Лескин, П.А. Мальцев, А.М. Спиридонов. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989.
6. Мустафаев В.А., Гусейнзаде Ш.С. Разработка алгоритма вычисления элементов вектора распределения вероятностей стохастических сетей Петри. Естественные и технические науки, Москва-2009, №4 (42), стр. 409-415, ISSN1684-2626.
7. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.

УДК 004.9

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕВЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

APPLICATION OF NETWORK EDUCATIONAL AND METHODICAL COMPLEXES FOR THE ORGANIZATION OF REMOTE SUPPORT OF TRAINING OF STUDENTS

Игнатьева Э.А.,
ФГБОУ ВО «Чувашский педагогический университет им. И.Я. Яковлева»,
г. Чебоксары, Российская Федерация

Ignateva E.A.
Of the “Chuvash pedagogical University I.Ya. Yakovleva”,
Cheboksary, Russian Federation

e-mail: iehmiliya@yandex.ru

Аннотация. Одной из возможных форм организации дистанционной поддержки являются сетевые учебно-методические комплексы, которые можно определить, как дидактический, программный, технический и интерактивный комплекс для обучения в среде Интернет. Применение онлайн-сервисов и облачных технологий в сетевых