

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ ТИПА V_f

В.А. Мустафаев, М.Н. Салманова

Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит, Азербайджанская Республика

Аннотация: рассмотрено моделирование сложных параллельных и распределенных систем, описывающих функционирование динамических объектов в условиях неопределенности. Предложен подход для моделирования сложных распределенных параллельных систем, который базируется на математическом аппарате нечетких сетей Петри типа V_f (НСПВ $_f$), представляющих собой расширение обычных сетей Петри с неопределенностью маркировки позиций. Определены правило срабатывания переходов и динамика изменения начальной и последующих маркировок НСПВ $_f$. Разработан алгоритм функционирования и вычисления структурных элементов НСПВ $_f$. Предлагаемый алгоритм обеспечивает эффективное преобразование вещных данных во внутренний формат, используемый в среде моделирования, решение задачи разрешимости срабатывания переходов, находящихся в состояниях конфликта, автоматическое выявление тупиковых ситуаций, а также упрощает и ускоряет процесс моделирования. На примере модуля параллельно функционирующих обрабатывающих устройств показано, что в результате полученная последовательность срабатывания переходов полностью описывает процесс функционирования НСПВ $_f$. На основе компьютерного эксперимента получена диаграмма достижимости в виде последовательности матриц

Ключевые слова: модель, алгоритм, нечеткие сети Петри, матрица инцидентности, модуль обработки

Введение

Сети Петри (СП) и их различные расширения являются эффективным моделирующим математическим аппаратом, достоинством которых является возможность представления структуры и анализа динамики состояний сложных распределенных параллельных систем. Достоинствами различных подклассов СП являются простота, наглядность и наличие хорошо развитых аналитических возможностей. Конструкции СП представляют собой сетевую модель для описания и анализа динамики функционирования систем в виде «события-действие, причина-следствие».

Основное преимущество СП и их расширения для моделирования динамических взаимодействующих процессов заключается в том, что предметная область моделируется СП и в результате анализа структуры моделей в независимости от реального объекта, в «online»¹ режиме осуществляется оценка целесообразности предлагаемого проектного решения компьютерными экспериментами.

Одной из важнейших областей применения СП являются моделирование и управление дискретных объектов. Здесь аппарат СП используется на стадии проектирования системы управления и при создании алгоритмической основы управления объекта.

СП имеют возможность [1] отображать параллелизм, асинхронность и иерархичность моделируемых систем. При проектировании и управлении систем СП применяется как вспомогательный инструмент анализа. При этом используются общепринятые методы проектирования систем, и в результате анализа основных свойств сети осуществляется оценка целесообразности проекта. Процесс проектирования носит итерационный характер, в случае отрицательного результата модифицированный проект снова моделируется СП и анализируется до тех пор, пока не достигаются желаемые результаты. Преимущество данного подхода заключается в том, что его можно использовать и для анализа существующих систем. К недостаткам выразительных возможностей подклассов СП относятся их непригодность моделирования событий с приоритетами и отсутствие возможности представления структуры и динамики функционирования систем в условиях неопределенности.

Различные обобщения СП [2] являются мощным аппаратом моделирования синхронных, асинхронных, параллельных распределенных и недетерминированных динамических взаимодействующих процессов.

Существующие проблемно-ориентированные расширения СП используются для описания неопределенности срабатывания переходов, находящихся в состоянии конфликта. При этом каждому элементу множества разрешенных последовательностей переходов

приписывается некоторая вероятность. Вторым вариантом описывает неопределенность наличия маркеров в позициях сети. Множество позиций СП моделирует состояние отдельных элементов системы, количество маркеров во всех позициях, определяет глобальное состояние моделируемого объекта. Неопределенность количества маркеров, находящихся в входных и выходных позициях СП, задается функциями распределения вероятности и степени принадлежности. В связи с этим, в представленной работе рассмотрено моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением нечетких СП с неопределенностью маркировки позиций. Разработан алгоритм функционирования и вычисления структурных элементов нечетких СП типа V_f .

Правила срабатывания переходов и алгоритм функционирования нечетких сетей Петри типа V_f

Модель динамических взаимодействующих процессов представляется в виде нечетких сетей Петри типа V_f (НСПВ $_f$). НСПВ $_f$ определяется в виде $V_f = (P, T, I, O, M_0)$, где $P = \{p_i\}$, $(i = \overline{1, n})$ – нечеткое множество позиций; $T = \{t_k\}$, $(k = \overline{1, m})$ – нечеткое множество переходов; $I : P \times T \rightarrow N_0$; $O : T \times P \rightarrow N_0$ – соответственно входная и выходная функция инцидентности переходов; $N_0 = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ множество натуральных чисел и ноль. M_0 – матрица начальной маркировки с размерностью $(n \times (d+1))$. Каждый элемент μ_{ij}^0 начальной матрицы равен значению функции принадлежности наличия $(j-1)$ числа маркеров в позиции p_i НСПВ $_f$ на момент начала ее запуска.

Размерность количества столбцов матрицы начальной маркировки определяется максимальным количеством маркеров d в позициях НСПВ $_f$: $J = \{1, \dots, d, d+1\} \subset N_0$.

Функционирование и условие возбуждения разрешенных переходов, а также текущая маркировка НСПВ $_f$ определяются по нижеописанным правилам:

Правило 1. Начальная и текущая состояния НСПВ $_f$ определяется матрицей M с размерностью $(n \times (d+1))$, компоненты которой удовлетворяют условию

$$\mu_{ij}^0 \in [0, 1] \quad (\forall i \in \{1, 2, \dots, n\}, \forall j \in J).$$

Правило 2. При некоторой текущей маркировке M , если удовлетворяется условие

$$\sigma \geq (I(p_1, t_k), I(p_2, t_k), \dots, I(p_1, t_k))$$

то переход $t_k \in T$ НСПВ $_f$ считается возбужденным, где

$$\sigma_i = \max_{(j \in J) \wedge (m_{ij} > 0)} \{j-1\} \quad (\forall p_i \in P).$$

Правило 3. После срабатывания возбужденного перехода $t_k \in T$ НСПВ $_f$ элементы новой маркировки изменяются по принципу:

– во входных позициях $p_i \in P$ НСПВ $_f$, для которых $I(p_i, t_k) \neq 0$, вычисляются по формулам:

$$\mu_{i1}^v = \max_{j \in \{1, 2, \dots, I(p_i, t_k)+1\}} \{\mu_{ij}\}; \quad (1)$$

$$\mu_{ij}^v = \mu_{i, j+I(p_i, t_k)} \quad (\forall j \in J \setminus \{1\}) \quad (2)$$

– во выходных позициях $p_i \in P$, для которых $O(t_k, p_i) \neq 0$ вычисляются по формулам [3]:

$$\mu_{ij}^v = \min\{\mu_{ij}, 1 - q_k\} \quad (\forall j \in \{1, 2, \dots, O(t_k, p_i)\}) \quad (3)$$

$$\mu_{ij}^v = \max\left\{\min\{\mu_{ij}, 1 - q_k\}, \min\{\mu_{i, j-O(t_k, p_i)}, q_k\}\right\} \quad (\forall j \in J) \wedge O(t_k, p_i), \quad (4)$$

где

$$q_k = \min\{\max\{\mu_{ij}\} \mid (\forall t_k \in T); (i \in \{1, 2, \dots, n\}) \wedge (j > I(p_i, t_k))\}$$

(q_k – степень принадлежности нечеткого срабатывания перехода $t_k \in T$).

Если некоторые позиции являются одновременно входными и выходными позициями перехода $t_k \in T$, то элементы матрицы текущей маркировки M_v вычисляются вначале по формулам (1)–(2), а затем по формулам (3)–(4).

Учитывая вышеизложенное, разработан алгоритм [4, 5, 6] функционирования НСПВ $_f$.

Шаг 1. Формируется матрица входных инцидентностей $D^- = [d_{ij}^-]$, $(i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m})$ с размерностью $(n \cdot m)$, где

$$d_{ij}^- = \begin{cases} 1, & \text{если } p_i \in I(t_j); \\ 0, & \text{если } p_i \notin I(t_j). \end{cases}$$

Шаг 2. Формируется матрица выходных инцидентностей $D^+ = [d_{ij}^+]$, $(j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n})$ с размерностью $(m \cdot n)$, где

$$d_{ij}^+ = \begin{cases} l, & \text{если } p_i \in O(t_j); \\ 0, & \text{если } p_i \notin O(t_j). \end{cases}$$

и $l \in N_0$.

Шаг 3. Определяется число столбцов d матрицы начальной маркировки M_0 :

3.1. Полагают $\max = d_{11}^-$;

3.2. Если выполняется условие $d_{ij}^- > \max$, то присваивается $\max = d_{ij}^-$, где $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$;

3.3. Присваивается $d = \max$.

Шаг 4. Создание матрицы начальной маркировки $M_0 = [\mu_{ij}]$, где $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, d+1}$.

Шаг 5. Вычисление элементов вектора σ :

5.1. Полагают $i = 1$;

5.2. Полагают $r = 0$;

5.3. При выполнении условия $\mu_{ij} \neq 0$, полагают $r = j$, для всех $j = \overline{1, d+1}$;

5.4. Вычисляется $\sigma_i = r - 1$, и индекс i увеличивается на единицу: $i = i + 1$. В случае выполнения условия $i \leq n$, осуществляется переход к п. 5.2, иначе осуществляется переход к шагу 6.

Шаг 6. Для каждого перехода $t_j, j = \overline{1, m}$ проверяется условие срабатывания: если для всех входных позиций перехода t_j выполняется условие $\sigma_i \geq d_{ij}^-$ ($i = \overline{1, n}$), тогда переход t_j разрешен и выполняется переход к шагу 8;

Шаг 7. если для перехода t_j условие срабатывания не выполняется, тогда индекс j увеличивается на единицу: $j = j + 1$. В случае выполнения условия $j \leq m$, выполняется переход к шагу 6, в противном случае сообщается о типовом состоянии и выполняется переход к концу алгоритма.

Шаг 8. Определяется степень принадлежности q_j нечеткого срабатывания перехода t_j :

8.1. В случае выполнения условия $d_{ij}^- \neq 0, (i = \overline{1, n})$ присваивается: $q_j = \text{const} > 1$; $\max = \text{const} < 1$ и выполняется переход к п. 8.2;

8.2. В случае выполнения условия $\mu_{ir} > \max$ присваивается $\max = \mu_{ir}$, ($r = d_{ij}^- + 1, d + 1$);

8.3. В случае выполнения условия $(\max < q_j) \wedge (\max > 0)$, тогда полагают $q_j = \max$, где \wedge – операция логического минимума;

Шаг 9. Вычисление элементов матрицы новой маркировки M' :

9.1. Для всех $d_{ij}^- \neq 0, (i = \overline{1, n})$ вычисляется:

9.1.1. Полагают $\max = \mu_{i1}$, если $\mu_{ir} > \max$, тогда присваивается: $\max = \mu_{ir}$, ($r = \overline{1, d_{ij}^- + 1}$); $\mu'_{i1} = \max$;

9.1.2. $\mu'_{ir} = \mu_{i, r+d_{ij}^-}$, $r = \overline{2, d+1}$;

9.2. Для всех $d_{ij}^+ \neq 0, (i = \overline{1, n})$ вычисляется:

9.2.1. В случае выполнения условия $\mu_{ir} < 1 - q_j$ присваивается $\mu'_{ir} = \mu_{ir}$, иначе $\mu'_{ir} = 1 - q_j$, ($r = \overline{1, d_{ij}^+}$);

9.2.2. В случае выполнения условия $\mu_{ir} < 1 - q_j$ присваивается $\min 1 = \mu_{ir}$, иначе $\min 1 = 1 - q_j$; в случае выполнения условия $\mu_{i, r-d_{ij}^+} < q_j$ присваивается $\min 2 = \mu_{i, r-d_{ij}^+}$, иначе $\min 2 = q_j$; в случае выполнения условия $\min 1 > \min 2$ присваивается $\mu'_{ir} = \min 1$, в противном случае $\mu'_{ir} = \min 2$, для всех $r = \overline{d_{ij}^+ + 1, d + 1}$.

Шаг 10. Полагается:

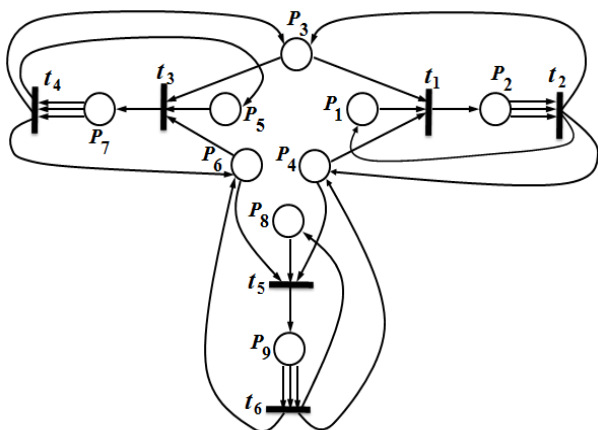
$\mu_{ir} = \mu'_{ir}; (i = \overline{1, n}; r = \overline{1, d+1})$ и осуществляется переход к шагу 5.

Модель модуля параллельно функционирующих обрабатывающих устройств в системе механообработки

Рассмотрим типовой обрабатывающий центр механообработки, состоящий из трех персональных входных накопителей, из трех параллельно функционирующих одностипных обрабатывающих устройств (ОУ) для выполнения одинаковой операции над разными одностипными заготовками и из трех персональных выходных накопителей. На модуле обрабатываются детали одного типа. Заготовки поступают на персональные входные накопители и ожидают обработку. Одно свободное устройство захватывает заготовку из левого или правого входного накопителя. Если все устройства свободны, то возникает конфликтная ситуация. Конфликт разрешается случайным выбором нечеткими законами композиции. Обработанные детали поступают на выходные накопители и ожидают отправку.

В граф-модели НСПВ_f модуля параллельно функционирующих обрабатывающих устройств в производственной системе механообработки (рисунок) состояния сети описываются следующими позициями: p_1, p_5, p_8 – соответственно ОУ1, ОУ2, ОУ3 в исходном состоянии и в режиме ожидания; p_3, p_4, p_6 – соответственно наличие заготовки во входных накопителях и входные накопители свободны; p_2, p_7, p_9 – соответственно ОУ1, ОУ2, ОУ3 в конечном состоянии и на выходных накопителях находится обработанная деталь.

Возможные события в модуле описываются следующими переходами: t_1, t_3, t_5 – начинается обработка заготовки соответственно в ОУ1, ОУ2, ОУ3; t_2, t_4, t_6 – заканчивается обработка заготовки соответственно в ОУ1, ОУ2, ОУ3.



Граф-модель параллельно функционирующих обрабатывающих устройств

Матрица входных инцидентов $D^-(6,9)$ и матрица выходных инцидентов $D^+(6,9)$ переходов сети описываются, соответственно, следующим образом:

$$D^-(6,9) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{pmatrix}$$

$$D^+(6,9) = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Начальная маркировка сети представляется матрицей $\mu^0(9,4)$:

$$\mu^0(9,4) = \begin{pmatrix} 0.30 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \\ 0.50 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.6 & 0.9 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

На основе начальных данных был проведен компьютерный эксперимент и получены следующие результаты:

$$\mu^1(9,4) = \begin{pmatrix} 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.30 & 0.60 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

$$\mu^2(9,4) = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

$$\mu^3(9,4) = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.90 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.40 & 0.60 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

$$\mu^4(9,4) = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.20 & 0.40 & 0.60 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

$$\mu^5(9,4) = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.40 & 0.60 \end{pmatrix}$$

$$\mu^6(9,4) = \begin{pmatrix} 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}$$

Из начальной маркировки получена последовательность срабатывания переходов $\sigma = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6)$.

Заключение

Предложен и разработан алгоритм функционирования и вычисления структурных элементов нечетких СП типа V_f . Разработанный алгоритм обеспечивает:

1. Моделирование сложных распределенных параллельных систем, функционирующих в условиях нечеткости и неопределенности.
2. Преобразование внешних данных во внутренний формат, используемый в среде моделирования.

Поступила 19.03.2019; принята к публикации 31.05.2019

Информация об авторах

Мустафаев Валех Азад оглы - д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Информатика», Сумгаитский государственный университет (AZ5008, Республика Азербайджан, г. Сумгаит, 43-й квартал), тел. +994505342506, e-mail: valex-sdu@mail.ru

Салманова Малахат Насиман кызы - аспирант кафедры «Информатика», Сумгаитский государственный университет (AZ5008, Республика Азербайджан, г. Сумгаит, 43-й квартал), тел. +994507562828, e-mail: malaxat_70@mail.ru

MODELING DYNAMIC INTERACTION PROCESSES USING FUZZY PETRI NETS OF V_f TYPE

V.A. Mustafaev, M.N. Salmanova

Sumgayit State University, Sumgayit, Republic of Azerbaijan

Abstract: the modeling of complex parallel and distributed systems describing the functioning of dynamic objects in conditions of uncertainty is considered. An approach is proposed for modeling complex distributed parallel systems, which is based on the mathematical apparatus of fuzzy Petri V_f networks (FPNV_f), which are extensions of ordinary Petri nets with position marking uncertainty. The rule of triggering transitions and the dynamics of changes in the initial and subsequent markings

3. Сокращение числа входных и выходных позиций переходов и размерность пространства достижимых состояний.

4. Разрешение срабатывания возбужденных переходов, находящихся в состоянии конфликта, и автоматическое выявление тупиковых ситуаций.

На основе предложенного алгоритма разработана модель параллельно функционирующих обрабатывающих устройств в производственной системе механообработки.

Результаты компьютерных экспериментов подтверждают, что предлагаемый алгоритм и предложенный подход позволяют моделировать реальные распределенные системы, функционирующие в условиях неопределенности.

Литература

1. Емельянова Г.М., Смирнова Е.И. Сети Петри в задачах моделирования сложных систем. Нечеткая сеть Петри. М., 2002. 264 с.
2. Окрестностное моделирование сетей Петри: монография / С.Л. Блюмин, А.М. Шмырин, И.А. Седых, В.Ю. Филоненко. Липецк: ЛЭГИ, 2010. 124 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 717 с.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984. 264 с.
5. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160 с.
6. Мустафаев В.А., Салманова М.Н. Разработка модели функционирования обрабатывающего центра с применением нечетких временных сетей Петри// Вестник Воронежского государственного технического университета. 2018. Т. 14. № 3. С.13-19.

of $FPNV_f$ are determined. An algorithm for the operation and calculation of the structural elements $FPNV_f$ is developed. The proposed algorithm effectively converts real-world data into the internal format used in the modeling environment, solves the problem of solvability of transitions that are in conflict, automatically identifies deadlocks, simplifies and speeds up the modeling process. Using the example of a module of parallel processing devices, it is shown that, the resulting transition sequence fully describes the operation process of the $FPNV_f$. On the basis of a computer experiment, a reachability diagram was obtained as a sequence of matrices

Key words: model, algorithm, fuzzy Petri Nets, incidence matrix, processing module

References

1. Emel'yanova G.M., Smirnova E.I. "Petri nets in problems of modeling complex systems. Fuzzy Petri net" ("Seti Petri v zadachakh modelirovaniya slozhnykh sistem. Nechetkaya set' Petr"), Moscow, 2002, 264 p.
2. Blyumin S.L., Shmyrin A.M., Sedykh I.A., Filonenko V.Yu. "Neighborhood modeling of Petri nets: monograph" ("Okrestnostnoe modelirovanie setey Petri: monografiya"), Lipetsk, LEGI, 2010, 124 p.
3. Leonenkov A.V. "Fuzzy modeling in environments MATLAB and fuzzy TECH" ("Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzy TECH") St. Petersburg, BHV–Peterburg, 2005, 717 p.
4. Peterson J. "Petri net theory and the modeling of systems" ("Teoriya setey Petri i modelirovaniya sistem"), Moscow, Mir, 1984, 264 p.
5. Kotov V.E. "Petri nets" ("Seti Petri"), Moscow, Nauka, 1984, 160 p.
6. Mustafayev V.A., Salmanova M.N. "Development of the model of operation center functioning with the application of the fuzzy timed Petri nets", *The Bulletin of Voronezh State Technical University (Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*, vol. 14, no. 3, 2018, pp.13-19.

Submitted 19.03.2019; revised 31.05.2019

Information about the authors

Valeh Azad oglu Mustafaev, Dr. Sc. (Technical), Professor, Sumgayit State University (43-th mkr, Sumgayit AZ5001, Azerbaijan), e-mail: valex-sdu@mail.ru

Malahat Nasiman gizi Salmanova, Graduate Student, Sumgayit State University (43-th mkr, Sumgayit AZ5001, Azerbaijan), e-mail: malaxat_70@mail.ru