

В.А.Мустафаев¹, М.Н.Салманова²

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ОБРАБАТЫВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ В СИСТЕМЕ МЕХАНООБРАБОТКИ

Сумгаитский государственный университет

(Азербайджан, Сумгаит, ¹valex-sdu@mail.ru, ²malaxat_70@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрено моделирование динамических взаимодействующих процессов, описывающих функционирование сложных объектов в условиях неопределенности. Предложен формализм, предназначенный для разработки и анализа моделей сложных параллельных и распределенных систем, который базируется на математическом аппарате временных сетей Петри (СП), представляющих собой обобщенные нечеткие временные СП типа V_f , совмещающие в себе детерминированного и недетерминированного характера. Разработан алгоритм функционирования нечетких временных СП типа V_f . Предлагаемый алгоритм обеспечивает решение задачи разрешимости срабатывания переходов, находящихся в состояниях конфликта, наложение нечеткой структуры на маркировку сети нечеткими законами композиции, определяющими значениями степеней принадлежности входных и выходных позиций переходов. Модель параллельно функционирующих обрабатывающих устройств представлена в виде нечетких временных СП типа V_f . На примере производственного модуля механообработки показано, что принятые правила срабатывания переходов полностью описывают процесс функционирования нечетких временных СП типа V_f . В результате симуляции получено дерево достижимости в виде последовательности матриц.

Ключевые слова: моделирование, алгоритм, нечеткие временные сети Петри, матрица инцидентов, модуль механообработки.

V.A Mustafayev¹, M.N. Salmanova²

MODELING THE DYNAMIC INTERACTION PROCESSES USING OF FUZZY TIMED PETRI NETS OF TYPE V_F

SumgayitStateUniversity,

(Azerbaijan, Sumgayit, ¹valex-sdu@mail.ru, ²malaxat_70@mail.ru)

Abstract: The Modeling of dynamic interacting processes is examined in the article, which shows the operation of complex objects in the condition of uncertainty. A formalism intended for the development and analysis of models of complex parallel and distributed systems is proposed. It is based on the mathematical apparatus of the fuzzy timed Petri nets (FTPN) of type V_f , representing generalized FTPN of type V_f , combining deterministic and non-deterministic character. Developed is the algorithm for the functioning of fuzzy timed PN. The proposed algorithm provides a solution to the problem of the solvability of triggering of transitions occurring in states of conflict, the imposition of a fuzzy structure on the network marking with fuzzy laws of composition that determine the values of the degrees of belonging of the input and output transition positions. The model of parallel functioning processing devices is presented in the form of FTPN of type V_f .

On the example of the production model of mechanical processing, it is shown that the accepted rules of triggering transitions fully show the functioning process of FTPN of type V_f . A tree graph of accessibility in the form of a sequence of vectors was received as a result of the simulation. As a result of the simulation, the reachability tree is obtained as a sequence of matrices.

Key words: modeling, algorithm, fuzzy timed Petri nets, incident matrix, machining module.

Введение

Сети Петри (СП) и их многочисленные модификации являются одним из классов моделей, достоинством которых является возможность адекватного представления не только структуры сложных распределенных систем, но также и логико-временных особенностей процессов их функционирования[1]. Модели СП позволяют исследовать работоспособность моделируемых систем, оптимальность их структуры, эффективность процесса их функционирования, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний. СП и их обобщения являются удобным и мощным средством моделирования асинхронных, параллельных распределенных и недетерминированных процессов, позволяют наглядно представить динамику функционирования систем и составляющих их элементов.

Различные модификации СП позволяют представить структуры и динамику функционирования моделируемых систем в условиях отсутствия влияния тех или иных факторов неопределенности. Указанное предположение о детерминированном характере структурных взаимосвязей и динамики функционирования СП существенно ограничивает возможности практического использования моделей данных классов и не отражает адекватным образом отдельные аспекты знаний о предметной области. Включение описания неопределенности в различные детерминированные разновидности и обобщения СП может быть осуществлено различным образом по каждому из основных компонентов исходного формализма соответствующего класса СП. При этом можно рассматривать различные формы неопределенности (стохастическая, нечеткая, комбинированная) то, следуя по этому пути можно получить несколько вариантов формализма соответствующих классов СП с неопределенностью. В связи с этим, в представленной работе рассмотрено моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением нечетких временных СП типа V_f с неопределенностью маркировки позиций. Разработан алгоритм функционирования и вычисления структурных элементов нечетких временных СП типа V_f .

Правила срабатывания переходов и алгоритм функционирования нечетких временных сетей Петри типа V_f

Модель динамических взаимодействующих процессов представляется в виде нечетких временных сетей Петри типа V_f (НВСП V_f). НВСП V_f определяется в виде $V_f = (N, M_0, Z_f, S_f)$, где $N = (P, T, I, O)$ – структура НВСП V_f , $P = \{p_i\}$, ($i = 1, \dots, n$; n – число позиций) – множество позиций; $T = \{t_k\}$, m – ($k = 1, \dots, m$; число переходов) – множество переходов; $I : P \times T \rightarrow N_0$; $O : T \times P \rightarrow N_0$ – соответственно входная и выходная функция переходов; $N_0 = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ множество натуральных чисел и ноль; M_0 – матрица начальной маркировки, размерность которой равна $(n \times (d + 1))$. По определению функции принадлежности элементы матрицы начальной маркировки должны удовлетворять следующему условию[2]:

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

Размерность J определяется следующим образом: $J = \{1, \dots, d, d + 1\} \subset N_0$. Количество столбцов матрицы начальной маркировки определяется максимальным количеством вводимых в рассмотрение маркеров в позициях НВСП V_f , которое в общем случае принимается равным d .

$Z_f = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ – вектор параметров временных задержек маркеров в позициях НВСП V_f , каждый компонент, который представляет трапецевидный нечеткий интервал (ТНИ)[3]: $z_i = \langle z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}, z_{i4} \rangle, (i \in \{1, 2, \dots, n\})$.

$S_f = (s_1, s_2, \dots, s_m)$ – вектор параметров времен срабатывания разрешенных переходов НВСП V_f , каждый компонент, который представляет собой ТНИ: $s_j = \langle s_{j1}, s_{j2}, s_{j3}, s_{j4} \rangle, (j \in \{1, 2, \dots, m\})$.

Учитывая вышеизложенное, разработан алгоритм функционирования НВСП V_f .

Начало алгоритма

Создание матрицы входных инцидентов $D^- = [d_{ij}^-]$, где $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ (n – число позиций; m – число переходов). Элемент d_{ij}^- равен числу дуг от i -й позиции к j -му переходу:

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

Шаг 1. Создание матрицы выходных инцидентий $D^+ = [d_{ij}^+]$, где $j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}$. Элемент d_{ij}^+ равен числу дуг от j -го перехода к i -й позиции:

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

где $l \in N_0$.

Шаг 2. Определение количества столбцов d матрицы начальной маркировки M_0 :

3.1 Полагают $\max = d_{11}^-$;

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

3.3 Принимают $d = \max$;

Шаг 3. Создание матрицы начальной маркировки $M_0 = [\mu_{ij}]$, где $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, d+1}$;

Шаг 4. Создание вектора задержек маркеров в позициях:
 $z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$;

Шаг 5. Создание вектора времени срабатывания разрешенных переходов: $s = (s_1, s_2, \dots, s_m)$;

Шаг 6. Начальное время функционирования сети $\tau_{0i} = 0, i = \overline{1, 4}$;

Шаг 7. Вычисление элементов вектора ∂ :

7.1. Полагают $i = 1$;

7.2. Полагают $r = 0$;

7.3. Если $\mu_{ij} \neq 0$, то присваивается $r = j$, для всех $j = \overline{1, d+1}$;

7.4. Присваивается $\partial_i = r - 1$ и индекс i увеличивается на единицу: $i = i + 1$. Если $i \leq n$, то осуществляется переход к п. 8.2, в противном случае осуществляется переход к шагу 9;

Шаг 8. Поиск разрешенного перехода: для каждого перехода $t_j, j = \overline{1, m}$ проверяется условие срабатывания:

Шаг 9. Если для всех входных позиций перехода t_j выполняется условие $\partial_i \geq d_{ij}^- (i = \overline{1, n})$, то переход t_j разрешен, и выполняется переход к шагу 12;

Шаг 10. Если для перехода t_j условие срабатывания не выполняется, то индекс j увеличивается на единицу: $j = j + 1$. Если $j \leq m$, то осуществляется

переход шагу 9, в противном случае сообщается о тупиковом состоянии и осуществляется переход к концу алгоритма;

Шаг 11. Вычисление максимального времени блокировок маркеров входных позиций перехода t_j :

11.1. Полагают: $z_{\max_i} = 0$, для всех $i = \overline{1,4}$;

11.2. Для всех $d_{ij}^- \neq 0, i = \overline{1,n}$ вычисляют:

11.3. Если $z_{i1} > z_{\max_1}$, то полагают $z_{\max_1} = z_{i1}$;

11.4. Если $z_{i2} > z_{\max_2}$, то полагают $z_{\max_2} = z_{i2}$;

11.5. Если $z_{i1} - z_{i3} > z_{\max_3}$, то вычисляют $z_{\max_3} = z_{i1} - z_{i3}$;

11.6. Если $z_{i2} + z_{i4} > z_{\max_4}$, то вычисляют $z_{\max_4} = z_{i2} + z_{i4}$;

Шаг 12. Вычисляется: $z_{\max_3} = z_{\max_1} - z_{\max_3}$; $z_{\max_4} = z_{\max_4} - z_{\max_2}$;

Шаг 13. Вычисление степени принадлежности q_j нечеткого срабатывания перехода t_j :

13.1 Если $d_{ij}^- \neq 0, (i = \overline{1,n})$, то полагают $q_j = \text{const} > 1; \max = 0$ и осуществляется переход к п. 14.2;

13.2 Если $\mu_{ir} > \max$, то присваивается $\max = \mu_{ir}, (r = \overline{d_{ij}^- + 1, d + 1})$;

13.3 Если $(\max < q_j) \wedge (\max > 0)$, то полагают $q_j = \max$, где \wedge – операция логического минимума;

Шаг 14. Вычисление нечеткого времени срабатывания τ_j перехода t_j :

$$\tau_{ji} = \tau_{ji} + z_{\max_i} + s_{ji}, i = \overline{1,4};$$

Шаг 15. Вычисление элементов матрицы новой маркировки M' :

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

15.1.1 Полагают: $\max = \mu_{i1}$; если $\mu_{ir} > \max$, то присваивается

$\max = \mu_{ir}, (r = \overline{d_{ij}^- + 1, d + 1})$; присваивается $\mu'_{i1} = \max$;

15.1.2 $\mu'_{ir} = \mu_{i, r + d_{ij}^-}, r = \overline{2, d + 1}$;

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

15.2.1 Если выполняется условие $\mu_{ir} < 1 - q_j$ то, $\mu'_{ir} = \mu_{ir}$, в противном случае $\mu'_{ir} = 1 - q_j, (r = \overline{1, d_{ij}^+})$;

15.2.2 Если $\mu_{ir} < 1 - q_j$, то $\min 1 = \mu_{ir}$, в противном случае $\min 1 = 1 - q_j$; если $\mu_{i,r-d_{ij}^+} < q_j$, то $\min 2 = \mu_{i,r-d_{ij}^+}$, в противном случае $\min 2 = q_j$; если $\min 1 > \min 2$, то $\mu'_{ir} = \min 1$, в противном случае $\mu'_{ir} = \min 2$, для всех $r = \overline{d_{ij}^+ + 1, d + 1}$;

Шаг 16. Новая маркировка принимается за текущую: $\mu_{ir} = \mu'_{ir}; (1 = \overline{1, n}; r = \overline{1, d + 1})$ и осуществляется переход к шагу 8.

Конец алгоритма.

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 персональных входных накопителей и ожидают обработку. Одно свободное устройство (всего таких устройств три) 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 НВСП V_f модуля параллельно функционирующих обрабатывающих устройств в производственной системе механообработки (рис 1.) 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 в ОУ1, ОУ2, ОУ3 соответственно; t_2, t_4, t_6 – заканчивается обработка заготовки в ОУ1, ОУ2, ОУ3 соответственно.

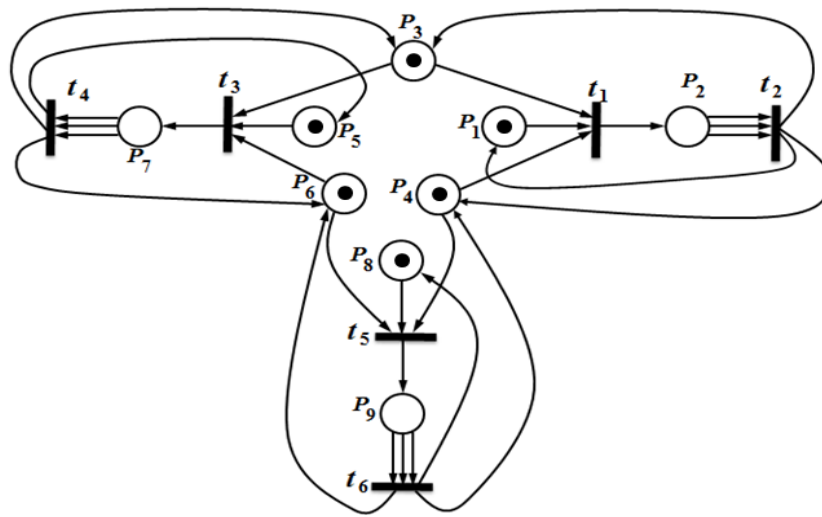


Рис 1. Граф-модель параллельно функционирующих обрабатывающих устройств

Начальная маркировка сети представляется матрицей $\mu_0(9,4)$:

$$\mu_0(9,4) = \begin{pmatrix} 0.30 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \\ 0.50 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.60 & 0.90 \end{pmatrix}$$

Элементы вектора параметров временных задержек маркеров в позициях:
 $z_1 = \langle 1, 2, 0, 1 \rangle, z_2 = \langle 1, 2, 1, 0 \rangle, z_3 = \langle 2, 3, 1, 0 \rangle, z_4 = \langle 2, 3, 1, 1 \rangle, z_5 = \langle 0, 1, 0, 1 \rangle, z_6 = \langle 1, 3, 1, 1 \rangle,$
 $z_7 = \langle 2, 4, 1, 1 \rangle, z_8 = \langle 2, 3, 0, 1 \rangle, z_9 = \langle 4, 5, 0, 1 \rangle.$

Элементы вектора параметров времен срабатывания разрешенных переходов: $s_1 = \langle 0, 1, 0, 1 \rangle, s_2 = \langle 1, 2, 0, 1 \rangle, s_3 = \langle 2, 3, 0, 1 \rangle, s_4 = \langle 1, 3, 0, 1 \rangle, s_5 = \langle 3, 4, 0, 1 \rangle, s_6 = \langle 1, 2, 1, 0 \rangle.$

На основе начальных данных был проведен компьютерный эксперимент и из начальной маркировки получена последовательность срабатывания переходов $\sigma = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6).$ Время срабатывания переходов:

$$\tau_1 = \langle 2, 4, 1, 2 \rangle, \tau_2 = \langle 4, 8, 2, 3 \rangle, \tau_3 = \langle 8, 14, 3, 5 \rangle, \tau_4 = \langle 11, 21, 4, 7 \rangle, \tau_5 = \langle 16, 28, 4, 9 \rangle, \tau_6 = \langle 21, 35, 5, 10 \rangle.$$

В результате срабатывания переходов получено последовательность матриц маркировок:

$$\begin{aligned}
\mu_1 &= \begin{pmatrix} 0.80 & 0.20 & 0.10 & 0.00 \\ 0.10 & 0.30 & 0.40 & 0.70 \\ 0.70 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.10 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.90 & 0.00 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.50 & 0.80 & 0.00 \end{pmatrix} & \mu_2 &= \begin{pmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.60 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.90 & 0.10 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.90 & 0.00 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.50 & 0.80 & 0.00 \end{pmatrix} & \mu_3 &= \begin{pmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.20 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.90 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.20 & 0.30 & 0.70 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.50 & 0.80 & 0.00 \end{pmatrix} \\
\mu_4 &= \begin{pmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.10 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.80 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.50 & 0.80 & 0.00 \end{pmatrix} & \mu_5 &= \begin{pmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.10 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.80 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.10 & 0.30 & 0.50 & 0.70 \end{pmatrix} & \mu_6 &= \begin{pmatrix} 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.10 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.20 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.10 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.30 & 0.70 & 0.00 & 0.00 \\ 0.70 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Заключение

Разработанный алгоритм функционирования НВСПВ_f обеспечивает удобное преобразование внешних данных во внутренний формат, используемый в среде моделирования, эффективную форму представления структуры, динамику состояния модели, пространство достижимых состояний и последовательность срабатывания переходов в виде совокупности векторов и матриц; автоматическое выявление тупиковых ситуаций. На основе предложенного алгоритма разработана модель параллельно функционирующих обрабатывающих устройств в производственной системе механообработки. Программа разработана в системе Delphi 7.0 на основе алгоритма. Ресурсы современных компьютеров позволяют решать задачи с матрицами достаточно большого размера, что вполне удовлетворяет требования, предъявляемые к моделированию реальных сложных распределенных систем, функционирующих в условиях неопределенности.

Список использованных источников

1. Емельянова Г.М. Сети Петри в задачах моделирования сложных систем. Нечеткая сеть Петри / Г.М. Емельянова, Е.И. Смирнова - М, 2002, 264 с.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А.В. Леоненков - БХВ-Петербург, Санкт-Петербург, 2005, 717 с.
3. Борисов В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов –Телеком, Москва, 2012, 284 с.