УДК 519.95

АНАЛИЗ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЕЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ МЕХАНООБРАБОТКИ

[1]МУСТАФАЕВ ВАЛЕХ АЗАД оглу
[2]БУДАГОВ ИСМЕТ САДАГАТ оглу
Сумгаитский государственный университет, 1-профессор, 2-докторант
valex-sdu@mail.ru

Ключевые слова: *модель управления, сети Петри, алгоритм, гибкий производственный модуль*

Необходимость адекватного представления автоматического производства, учет гибкости технологии, взаимозаменяемости оборудования, сложности структуры материальных потоков приводит к созданию специфических средств описания модели технологического производства. Одним из таких средств являются сети Петри (СП) и их проблемно-ориентированные расширения.

СП используются в основном как формальный аппарат при моделировании систем, которым присущи параллелизм. При переходе от последовательных систем к параллельным возникают принципиально новые трудности, т.е. возникновение тупиковых ситуаций. Попытки моделирования реальных параллельных систем привели к различным до определениям и модификациям СП. В основном эти модификации связаны с изменением правила запуска переходов. Мощность моделирования обычных СП ограничена невозможностью проверки позиции на нуль. Одним из способов преодоления этого недостатка является введение сдерживающих дуг. По новым правилам запуска переход разрешен, если фишки есть в его обычных входных позициях (из которых ведут обычные дуги) и отсутствуют в сдерживающих входных позициях (из которых ведут сдерживающие дуги). Сдерживающая дуга изображается как обычная, только на конце имеет вместо стрелки маленький кружок, который означает «*НЕ*». Если в обычных СП переход запускается по логике «*И*», то в СП со сдерживающими дугами логика расширена до включения отрицаний. Таким образом, СП позволяют моделировать предусловия в виде дизъюнктивной нормальной формы, т.е. условия самого общего вида. В связи с этим, рассматривается моделирование систем [1], поведение которого записывается как объединение нескольких конъюнкций условий и отрицаний условий, соответствующих позициям СП со сдерживающими дугами.

Формально сеть Петри определяется как набор вида $N = (P,T, I, O, \mu_0)$, где $P=\{p_1, p_2, \dots p_n\}$, $n > 0$- конечное непустое множество условий;
$T=\{t_1, t_2, \dots , t_m\}$, $m > 0$- конечное непустое множество переходов (множество условий и множество переходов не пересекаются $P \cap T=\varnothing$; $I:P \times T\rightarrow\{0, 1,\dots, \}$, $O:T \times P\rightarrow\{0, 1,\dots, \}$- соответственно функции входных и выходных инциденций; $\mu_0: P\rightarrow \{0, 1,\dots ,\}$- начальная маркировка. Условие p_i является входной или выходной позицией перехода t_j в тех случаях, если выполнятся $p_i \in I(t_j)$ или $p_i \in O(t_j)$ соответственно.

Изменение состояний СП осуществляется в результате срабатывания возбужденных переходов и последовательной сменой маркировок по правилу [2]:

$$\mu'(p_i)=\mu(p_i)-I(p_i , t_j)+O(t_j ,p_i), \forall p \in P,$$

где $\mu'(p_i)$ – текущая маркировка; $\mu(p_i)$ - предыдущая маркировка;

Проанализировав основные свойства – ограниченность (конечность состояний отдельных элементов системы), безопасность (количество состояний не более единицы), достижимость (существует последовательность переходов, переводящих СП из состояний μ_0 в μ'), живость (отсутствуют тупиковые ситуации в процессе функционирования, т.е. возможность системы перейти из любого состояния, достижимого из начального в любое другое) и сохраняемость (невозможность уничтожения или возникновения дополнительных ресурсов) СП можно оценить поведение моделируемой системы.

Для анализа свойства СП наиболее эффективными методами являются метод построения дерева достижимости и матричный подход представления сетей.

Первый подход основан в проверке свойств сетей путем построения и анализа множества достижимых состояний системы. При большом количестве состояний этот метод затруднителен и в большинстве случаев не дает желаемого результата. Кроме того, с этим методом невозможно анализировать все перечисленные свойства СП.

Перспективным является второй подход, основанный на матричном представлении СП. Матричный подход позволяет создать практические алгоритмы для анализа СП на основе решения систем линейных уравнений и неравенств (методы поиска инвариантов). Кроме того, методы поиска инвариантов представляют собой единый аппарат для анализа общих и частных свойств поведения как простых, так и сложных (раскрашенных, предикатных, временных, стохастических и др.) СП. Другим важным преимуществом матричного подхода является возможность относительно легкой реализации решения матричных уравнений и анализ поведения СП на компьютера.

Для представления СП в матричном виде определяются две матрицы D^- и D^+, представляющие входную и выходную функции (каждая матрица имеет m строк – по одной на переход, и n столбцов – по одному на позицию) [3] :

$$D^-[j, i] = \#(p_i, I(t_j));$$
$$D^+[j,i] = \#(p_i, O(t_j)).$$

Следовательно, СП можно представить в виде $N=(P,T,D^-, D^+, \mu_0)$, которая эквивалентна рассматриваемой стандартной форме и позволяет дать определение в терминах векторов и матриц. Элементы входных D^- и выходных D^+ матриц создаются следующим образом 3:

$$d^-_{ij} = \begin{cases} 1,\ если\ \ p_i \in I(t_j), & i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \\ 0,\ если\ \ p_i \notin I(t_j), & i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \end{cases}$$

$$d^+_{ij} = \begin{cases} 1,\ если\ \ p_i \in O(t_j), & i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \\ 0,\ если\ \ p_i \notin O(t_j), & i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}. \end{cases}$$

Алгоритм метода поиска инвариантов СП

Начало алгоритма

Шаг 1. Создание входных матриц, представляющих входную функцию СП размерностью $m \times n$:

$$d^-_{ij} = \begin{cases} 1,\ if\ \ p_i \in I(t_j),\ i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \\ 0,\ if\ \ p_i \notin I(t_j),\ i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}. \end{cases}$$

Шаг 2. Создание выходных матриц, представляющих выходную функцию СП размерностью $m \times n$:

$$d^+_{ij} = \begin{cases} 1,\ if\ \ p_i \in O(t_j),\ i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \\ 0,\ if\ \ p_i \notin O(t_j),\ i=\overline{1,n};\ j=\overline{1,m}; \end{cases}$$

Шаг 3. Создание матрицы инцидентности, представляющих входную и выходную функцию СП размерностью $m \times n$:

$$d_{ij} = \begin{cases} -1, \; if \;\; p_i \in I(t_j) \; and \; p_i \in O(t_j), \; i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}; \\ 1, \; if \;\; p_i \notin I(t_j) \; and \; p_i \in O(t_j), \; i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}; \\ 0, \; if \;\; p_i \in I(t_j) \; and \;\; p_i \notin O(t_j), \; i = \overline{1,n}; \; j = \overline{1,m}. \end{cases}$$

Шаг 4. Вычисление ранга матрицы инцидентности:

а) формирование треугольной матрицы: если $d_{k_k} \neq 0$ то

$$d_{k_j}^{k-1} = d_{kj}^{k-2} - \frac{d_{k,k-1}}{d_{k-1,k-1}} \cdot d_{k-1,j}^{(k-2)}, \text{ где } \; j = \overline{k,n}\,; \; k \leq n\,;$$

б) Счетчик $rang\,D = 0$;

в) если $d_{ii}^k \neq 0, \;\; (k \leq n)$ то $rang\,D = rangD + 1$; где $i = \overline{1,n}$.

Шаг 5. Определение размерности множества фундаментальных решений системы (число p-инвариантов):

$$\ell = n - rangD.$$

Шаг 6. Нахождение фундаментальных решений системы линейных уравнений и определение p-инвариантов:

а) если $\ell = 0$ то существуют только тривиальное решение, иначе:

б) $X_i = \rfloor x_{ij} \lfloor$, где $i = \overline{1,\ell}$; $j = \overline{1,n}$.

Шаг 7. Транспонирование матрицы инцидентности:

$$d_{ij}^T = d_{ji}, \text{ где } \; j = \overline{1,m}\,; \;\; i = \overline{1,n}\,.$$

Шаг 8. Определение размерности множества фундаментальных решений системы (число t - инвариантов):

$$\ell = m - rangD.$$

Шаг 9. Нахождение фундаментальных решений системы линейных уравнений и определение t – инвариантов:

а) если $\ell = 0$ то существуют только тривиальное решение, иначе

б) $x_i = \rfloor x_{ij} \lfloor$, где $i = \overline{1,\ell}$; $j = \overline{1,m}$.

Конец алгоритма

Рассмотрим модель функционирования ГПС. ГПС включает в себя три параллельно функционирующих ГПМ. Каждая деталь из материального потока должна обрабатываться во всех трёх ГПМ только один раз и не имея определённой очередности. При выполнении этой задачи параллелизм обеспечивается в том случае, когда все три ГПМ могут взаимодействовать. Каждый ГПМ может принимать обрабатываемую деталь из левой или правой рабочей зоны. Соответственно передать обрабатываемую деталь в правую или в левую рабочую зону. Такое взаимодействие требует распределения ресурсов между ГПМ. Каждый ГПМ может иметь четыре состояния: (p_1) ГПМ обрабатывает деталь; (p_2) ГПМ захватывает левую рабочую зону; (p_3) ГПМ захватывает правую рабочую зону; (p_4) ГПМ в состоянии ожидания.

Возможные состояния во все трёх ГПМ обозначены как p_i^j, $(i = \overline{1,3}, j = \overline{1,4})$, где i - номер ГПМ, j - номер состояния.С использованием СП разработана модель функционирования каждого ГПМ. Составная СП , являющаяся объединением СП для каждого из трёх ГПМ, представляет одновременное выполнение трёх процессов. Дерево достижимости этой СП содержит две терминальные маркировки $\mu_1 = \{p_2^1, p_2^2, p_2^3\}$ и $\mu_2 = \{p_3^1, p_3^2, p_3^3\}$, представляющие ситуации, когда каждый ГПМ захватывает левый и правый ГПМ соответственно. Это означает, что СП не активна, т.е. в системе возможны тупиковые ситуации.

Учитывая что $n=9$ и $m=6$, получим входную и выходную матрицу в виде:

$$D^{-}=\begin{vmatrix}1&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0&0\\1&1&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&1&1&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&1\end{vmatrix},\qquad D^{+}=\begin{vmatrix}0&0&0&0&1&0&0&0&0\\1&0&1&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0&0\\1&1&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&1\\0&1&1&0&0&0&0&1&0\end{vmatrix}.$$

Следовательно, матрица инцидентности примет вид:

$$D=\begin{vmatrix}-1&0&-1&-1&1&0&0&0&0\\1&0&1&1&-1&0&0&0&0\\-1&-1&0&0&0&-1&1&0&0\\1&1&0&0&0&1&-1&0&0\\0&-1&-1&0&0&0&0&-1&1\\0&1&1&0&0&0&0&1&-1\end{vmatrix},\quad D^{T}=\begin{vmatrix}-1&1&-1&1&0&0\\0&0&-1&1&-1&1\\-1&1&0&0&-1&1\\-1&1&0&0&0&0\\1&-1&0&0&0&0\\0&0&-1&1&0&0\\0&0&1&-1&0&0\\0&0&0&0&-1&1\\0&0&0&0&1&-1\end{vmatrix}.$$

При этом решаются системы линейных уравнений $D\cdot X=0$ и $\mathrm{D}^{\mathrm{T}}\cdot X=0$.

Решением первой системы уравнений является X=(1,1,1,1,3,1,3,1,3). Действительно, позиции p_5, p_7, p_9 представляют условия, связанные с тремя устройствами, остальные позиции – условия, которые связаны с одним устройством. Решением второй системы уравнений является X_1=(1,1,1,1,1,1).

В результате компьютерного эксперимента получена последовательность срабатывания переходов $\sigma=(t_1t_2t_3t_4t_5t_6)$ из начальной маркировки $\mu_0=(1,1,1,1,0,1,0,1,0)$. $x_{1i}\neq 0$ $\left(i=\overline{1,6}\right)$ показывает, что все переходы сети живые и следовательно, вся сеть живая. Это решение показывает, что все переходы живы и достижимы и СП является устойчивой. Дерево достижимости не содержит терминальных маркировок и СП активна. Кроме того, из дерева достижимости видно, что СП безопасна. В системе осуществляется распределение ресурсов, которые не появляются и не исчезают, т.е. выполняется свойство сохраняемости. Проблемы синхронизации, возникающие при взаимодействии процессов, обеспечиваются данной сетью. Модель эффективно представляет в реальном времени логику функционирования параллельных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов В.Е. Сети Петри М.: Наука, 1984, 160с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984, 264 с.
3. Ахмедов М.А., Мустафаев В.А. Моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением стохастических и нечетких сетей Петри// Электронное моделирование, том 35, №4, Киев, 2013, с. 109-121

XÜLASƏ
PARALEL İŞLƏYƏN MEXANİKİ EMAL ÇEVİK İSTEHSAL MODULLARININ İDARƏETMƏ MODELİNİN ANALİZİ
Mustafayev V.A., Budaqov I.S.

Açar sozlər: *idarəetmə modeli, Petri şəbəkəsi, alqoritm, çevik istehsal modulu*.

Məqalədə paralel işləyən mexaniki emal çevik istehsal modullarının idarəetmə modeli işlənmişdir. Modelin strukturu Petri şəbəkəsinin matris təsviri şəklində qurulmuşdur. Proseslərin qarşılıqlı əlaqəsi zamanı yaranan sinxronlaşdırma problemlərinin bu şəbəkə tərəfindən təmin edilməsi göstərilmişdir. Şəbəkənin invariantlarının axtarışı alqoritminin tətbiqi ilə onun əsas xassələri analiz olunmuşdur.

SUMMARY
ANALYSIS OF MANAGEMENT MODEL OF PARALLEL FUNCTİONİNG FLEXIBLE PRODUCTION MODULES OF MECHANICAL PROCESSING
Mustafayev V.A., Budagov I.S.

Key words: *management model, Petri network, algorithm, flexible production module*

The article develops a control model for flexible production modules of parallel machining. The structure of the model is described in the form of a matrix of the Petri network. Synchronization problems that occur when processes interact are provided by this network. The main properties of the network were analyzed using the algorithm for searching invariants

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	21.01.2021
	Son variant	26.02.2021