



УДК 681.3:516.8

Центральный филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Российская академия правосудия»

Канд. техн. наук, доцент, профессор В.К. Голиков

Воронежский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный торгово-экономический университет»

студент магистратуры А.В. Черницын

Россия, г. Воронеж

E-mail: gwk-vrn@yandex.ru

Central branch of Federal public budgetary educational institution of higher education

"The Russian academy of justice"

Ph. D. in Engineering, associate professor, professor V. K. Golikov

Voronezh branch of Federal public budgetary educational institution of higher education "Russian state trade and economic university"

student of a magistracy A.V. Chernitsyn

Russia, Voronezh

E-mail: gwk-vrn@yandex.ru

В.К. Голиков, А.В. Черницын

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНОЙ СИСТЕМЫ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ СЕТЬЮ ПЕТРИ

Проводится анализ перемещения информационных и материальных потоков в дискретных системах на основе аппарата сетей Петри, определяются условия возникновения конфликтных ситуаций в имитационной модели.

Ключевые слова: асинхронный, дискретный, достижимость, имитация, информационный, конфликт, маркировка, материальный, метка, множество, модель, непримитивное событие, ограниченность, переход, поток, примитивное событие, сеть Петри, система, событие, функционирование, элемент.

V.K. Golikov, A.V. Chernitsyn

ANALYSIS OF DYNAMIC MODEL OF FUNCTIONING THE DISCRETE SYSTEM PRESENTED BY THE PETRI NETWORK

The analysis of movement of information and material streams in discrete systems on the basis of the device of networks of Petri is carried out, conditions of emergence of conflict situations in imitating model are defined.

Keywords: asynchronous, discrete, approachability, imitation, information, conflict, marking, material, tag, set, model, imprimitive event, limitation, transition, stream, primitive event, Petri's network, system, event, functioning, element.

Введение

Анализ дискретных систем (ДС) показывает [1, 3, 9], что в системах существуют определенные ограничения, связанные с дискретным характером функционирования. Например: ограниченность объема перемещаемого груза; ограниченные объемы складского оборудования; ограниченный объем

тары и т. д. Все это может быть отражено в сети Петри (СП), и характеризуется понятием ограниченности СП.

Сеть Петри, описывающая ДС [2, 4], содержит примитивные ($\Delta\tau_{nk}^i = 0$) и не примитивные ($\Delta\tau_{nk}^i \neq 0$) переходы. Для перехода t_{nk}^i , описывающего не примитивное событие и имеющего продолжительность выпол-

нения $\Delta\tau_{nk}^i \neq 0$, необходимо помимо модельного времени учитывать также время, $\Delta\tau_{nk}^i(\tau)$ оставшееся до окончания активного не примитивного события

$$\begin{aligned}\Delta\tau_{nk}^i(\tau) &= T_{nk}^i(\tau, \{\Delta\tau_{nk_1}^{i_1}\}, \{\Delta\tau_{nk_2}^{i_2}(\tau)\}), \\ i &= \overline{0, I}, i_1 = \overline{0, I}, i_2 = \overline{0, I}, n = \overline{0, N^i}, \\ k &= \overline{1, K_n^i}, k_1 = \overline{1, K_n^i}, k_2 = \overline{1, K_n^i},\end{aligned}\quad (1)$$

где T_{nk}^i – оператор определения времени, оставшегося до окончания не примитивного события, описываемого переходом t_{nk}^i .

Определение модельного времени τ определяется оператором Π_τ :

$$\tau = \Pi_\tau(\tau, \{\Delta\tau_k, \Delta\bar{\tau}_k(\tau)\}), k = \overline{1, K}, \quad (2)$$

где K – число переходов СП рассматриваемой ДС.

Для выполнения полученной сети необходимо задать начальные условия, которые определяются количеством и атрибутами меток в позициях сети Петри в начальный момент времени

$$\begin{aligned}\mu_0 &= \{\mu(p_{Inkj}^i, \tau=0), \mu(p_{Onkl}^i, \tau=0)\}, \\ A_0 &= \{A(p_{Inkj}^i, \tau=0), A(p_{Onkl}^i, \tau=0)\},\end{aligned}\quad (3)$$

$$M_0 = \{\mu_0, A_0\}. \quad (4)$$

Они задаются начальными условиями реализации функции – цели ДС. С учетом этого сеть Петри представляется в виде [2]

$$C = (C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i, M_0, \tau). \quad (5)$$

$$\text{Позиция } p_{nk}^i \subset P \text{ сети } C = (C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i,$$

$M_0, \tau)$ является s - ограниченной ($s = 1, 2, \dots$), если $\forall M_k = (M_k(p_{nk}^i)) \subset M(C): M_k(p_{nk}^i) \leq s$, где $M(C)$ – множество всех достижимых от M_0 маркировок M_k . При $s = 1$ позиция сети называется безопасной. В случае, когда все позиции безопасные, сеть C - безопасна. Сеть C называется ограниченной, если все ее позиции ограниченные.

Для материальных потоков циркулирующих в ДС важным свойством является закон сохранения [5]. Сохраняющей называется сеть Петри, для которой по отношению к некоторому заданному вектору весов $(a_1, a_2, \dots, a_{|P|})$ (вес – количество дуг связывающих переход и позицию), где $a_i \in \mathbb{N}$, \mathbb{N} – натуральное число, $i = \overline{1, |P|}$, выполняется условие

$$\forall_{M_k \in M(C)} \sum_i a_i M_{k+1}(p_i) = \sum_i a_i M_k(p_i).$$

Если $(a_1, a_2, \dots, a_{|P|}) = (1, 1, \dots, 1)$, то сеть является строго сохраняющей, и в ней выполняется условие $\forall t_j \in T: |O(t_j)| = |I(t_j)|$ [3].

Важным моментом при реализации имитационной модели является отсутствие блокировки СП [4], когда при достигнутой маркировке сети дальнейшее выполнение части сети или всей сети становится невозможным. Избежать подобной ситуации позволяет анализ СП на наличие тупиков. Множество переходов СП (или один какой-то переход), которые в некотором состоянии сети оказываются заблокированными (не могут более выполняться), называются тупиками. Переходы не обладающие этим свойством называются активными. Тупик имеет активность нулевого уровня. Переход

$t_{nk}^i \in T$ сети Петри $C = (C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i, M_0, \tau)$ бу-

дет активным, если существует такая разметка сети $M_k \in M(C)$, при которой переход оказывается возбужденным. Активный переход называется переходом первого уровня активности. Переход t_{nk}^i обладает активностью уровня 2, если для $n \in \mathbb{N}$ в сети может существовать последовательность срабатываний переходов, в которой данный переход будет выполняться не менее n раз.

Теоретический анализ

Функционирование ДС характеризуется определенной последовательностью преобразования исходных материалов в конечный продукт, что выражается в имитацион-

ной модели в виде достижимости разметки сети Петри. Достижимой в СП $C = (C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i, M_0, \tau)$

называется разметка $M_k \in M(C)$. $M(C)$ – множество достижимости СП [8]. Для ДС это означает, возможно, ли достичь определенной цели, в принципе, при заданных условиях и ограничениях, т. е. существует ли путь достижения цели. С другой стороны эта же ситуация определяется понятием живости

СП. Сеть $C = (C_0, \bigcup_{i=1}^I C^i, M_0, \tau)$ – живая, если

все ее переходы живые. Переход $t_{nk}^i \in T$ называется живым, если для любой исходной разметки $M_k \in M(C)$ в сети, достижима разметка $M \in M(C, M_k)$, при которой переход t_{nk}^i может сработать.

Большое значение при исследовании как самой ДС так и ее модели заключается в определении условий определяющих наличие конфликтной ситуации в имитационной модели, описывающей функционирование системы. Возникновение конфликта может быть вызвано двумя причинами:

- конфликт отражает существенные свойства системы и его моделирование должно задаваться правилами выполнения конфликтных переходов определяемых функционированием действующей системы;
- конфликт определяется СП, в этом случае необходимо проверить соответствие модели исследуемой системе, рассмотреть другие варианты модели.

Помимо перечисленных, можно определить и многие другие свойства сетей Петри. Например, можно проводить анализ сетей с помощью диаграмм достижимых маркировок, хотя построить и использовать такие диаграммы удастся далеко не во всех случаях.

Из проведенного анализа следует, что:

- сравнивая функционирование рассматриваемой ДС и свойства ее модели, представленной в виде сети Петри, можно оценить адекватность построенной модели исследуе-

мой ДС;

- на основе изучения свойств полученной модели, не прибегая к прямым имитационным экспериментам, при определенных условиях, можно качественно оценить поведение ДС;
- более полное и точное представление о функционировании ДС можно получить только при выполнении имитационных экспериментов.

Особенности реализации динамической модели. Рассмотрим выполнение сети Петри (или поведение моделируемой системы) как последовательность дискретных событий. Порядок выполнения событий является одним из возможных, допускаемых основной структурой. Это приводит к неопределенности в выполнении СП. Если в какой-то момент времени разрешено более одного перехода, то любой из нескольких возможных переходов может стать “следующим” запускаемым. Выбор запускаемого перехода осуществляется недетерминированным, случайным образом. По-видимому, эта особенность СП связана с отсутствием временной синхронизации событий.

В классической теории сетей Петри время не учитывается. Динамика такой сети заключается в выполнении разрешенных переходов и соответствующем изменении меток в позициях сети Петри. Для построения динамики имитационной модели функционирования ДС, учитывающей временной характер протекающих в ДС процессов, рассмотрим совместное выполнения СП и временных параметров изучаемой системы.

Общую модель динамики дискретной системы получим, если в модели предположить дискретность изменения времени, это связано с дискретными свойствами самой системы [7].

При реализации ИМ τ_m – модельное время, по которому организуется синхронизация событий [2- 4] в системе. С помощью модельного времени τ_m реализуется квази-параллельная работа подсистем и элементов ИМ. Приставка “квази” в данном случае отражает последовательный характер обслу-

живания выполнения активных переходов СП, одновременно возникающих в различных подсистемах СП.

Каждый переход t_{nk}^i определяется своим индивидуальным временем выполнения $\Delta t_{nk}^i(\tau_m)$. Корректировка временных координат $\Delta t_{nk}^i(\tau_m)$ нескольких переходов t_{nk}^i ИМ осуществляется с помощью модельного времени τ_m следующим образом. Если значения $\Delta t_{nk}^i(\tau_m)$ нескольких t_{nk}^i совпадают (это означает, что в реальной системе происходит одновременно несколько событий, а в ИМ выполняется одновременно несколько переходов), то последовательно обслуживаются t_{nk}^i , совпадающие по времени выполнения, т. е. имеющие одинаковые значения $\Delta t_{nk}^i(\tau_m)$. При этом модельное время τ_m не меняется до окончания выполнения всех совпавших по времени реализации переходов. Когда имитация одновременно выполняемых переходов t_{nk}^i завершена и выполнены соответствующие изменения $\Delta t_{nk}^i(\tau_m)$, производится корректировка модельного времени τ . Существуют два способа изменения τ_m : с помощью фиксированных и переменных интервалов изменения модельного времени. Часто их называют соответственно способами фиксированного шага и способом шагов до следующего события. На практике предпочтение способу фиксированного шага отдается в двух случаях. Во-первых, когда события (выполнение переходов t_{nk}^i) распределены равномерно на всем интервале моделирования и исследователь может подобрать интервал изменения временной координаты $\delta\tau(\tau_m)$, обеспечивающий минимальную погрешность имитации. Во-вторых, когда событий очень много и они появляются группами. Во всех остальных случаях способ задания шага до сле-

дующего события более предпочтителен. В нашем случае моделирования ДС, когда времени выполнения переходов t_{nk}^i распределены неравномерно и появляются они через значительные временные интервалы $\delta\tau(\tau_m)$, способ задания шага до следующего события экономичнее и точнее способа фиксированного изменения модельного времени τ_m .

Временная зависимость модели, представленной сетью Петри, означает, что в модель вводится определенный порядок следования событий, модель является детерминированной. Однако в этой модели могут учитываться случайные внешние и внутренние возмущения за счет позиций связывающих ее с внешней средой. Такое представление модели соответствует процессам, протекающим в ДС.

Влияние конфликтов на динамику модели, представленной в виде сети Петри. При моделировании систем с помощью сетей Петри приходится следить за тем, чтобы все потенциально возможные в сети последовательности событий соответствовали допустимым в рассматриваемых условиях процессам в системе, что особенно важно при наличии в модели большого числа параллельных процессов. В этом случае даже незначительные, на первый взгляд, неточности, допущенные при описании реально наблюдаемых (или же возможных) взаимодействий между компонентами системы, могут привести к появлению таких последовательностей событий, осуществление которых в модели необоснованно.

Действующие в системе процессы, в некоторых фазах их выполнения, требуют определенных ресурсов, количество которых, как правило ограничено. Моделирование механизмов управления ресурсами в сетях Петри связано с решением задач синхронизации событий. Синхронизация достигается за счет введения в сеть специальных фрагментов, с помощью которых для заданных состояний удается реализовать условия взаимного исключения, обеспечивающие возможность получения необходимых ре-

сурсов только каким – то одним из процессов, затребовавших ресурсы. Если условия взаимного исключения событий в определенных состояниях сети специальным образом не обеспечиваются, то на соответствующих переходах сети возникают конфликты, разрешаемые всякий раз случайным образом в пользу какого-то одного из переходов. В случае конфликта на переходах сети срабатывание одного из них приводит к снятию возбуждения с других переходов конфликтной группы. Таким образом, всякий раз будет выполняться только один какой – то случайно выбранный переход и будет реализована только одна, связанная с данным переходом последовательность событий, этот конфликт относится к так называемым конфликтам предусловий.

Два, или больше переходов находятся в конфликте предусловий если:

$$\bigcap_i I(t_i) \neq 0, (t_i \in T). \quad (6)$$

Для конфликта постусловий, условие возникновения определяется выражением:

$$\bigcap_i O(t_i) \neq 0, (t_i \in T). \quad (7)$$

Способ моделирования конфликта, применяемый в классических сетях Петри, не всегда отражает особенности реальных ДС и при анализе СП необходимо обращать особое внимание на моделирование конфликтных ситуаций, предусматривать определенные алгоритмы выполнения переходов исключающих или разрешающих эти конфликты. При моделировании ДС конфликты возникают из-за обращения к общим ресурсам элементов системы. Поэтому при моделировании необходимо рассмотреть четыре основных варианта.

1. Обслуживание поступивших требований выполняется в порядке очередности их поступления, первым пришел - первым обслужен.

2. Обслуживание по приоритетам. Для каждого элемента системы задается приоритет, и первым обслуживается требование с наивысшим приоритетом. При выполнении нескольких требований с одинаковыми при-

оритетами обслуживание ведется в порядке очередности их поступления.

3. Обслуживание осуществляется случайным образом. Вероятность обслуживания, любой из имеющихся заявок одинакова.

4. Обслуживание с участием лица принимающего решение (ЛПР). В этом случае, если выбран такой режим выполнения заявок, ЛПР принимает решение об очередности выполнения заявок (чаще всего это возникает при выполнении ремонта оборудования).

При системном подходе необходимо определить основные составляющие уравнения вход – состояние – выход, которые определяются позициями сети Петри [1].

Заключение

Проведенный анализ показывает, что функционирование ДС с учетом происходящих в ней асинхронных, параллельных событий может быть представлено в виде имитационной модели на основе аппарата теории сетей Петри.

Библиографический список

1. Голиков В.К. Сети Петри в ситуационном управлении и имитационном моделировании дискретных технологических систем / В.К. Голиков, К.Н. Матусов, В.В. Сысоев. Под общ. ред. В.В. Сысоева – М.: ИПРЖР, 2002. – 227 с.
2. Перовская Е.И. Автоматизация гибких дискретных систем / Перовская Е.И., Фетисов В.А. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1989. – 160с.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 263 с.
4. Сысоев В.В. Структурные и алгоритмические модели автоматизированного проектирования производства изделий электронной техники. – Воронеж: ВТИ, 1993. – 207 с.
5. Котов В.Е. Сети Петри, – М.: Наука, 1984. – 158 с.
6. Подвальный С.Л. Имитационное управление технологическими объектами с гибкой структурой. / Подвальный С.Л., Бур-

ковский В.Л. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. – 168 с.

7. Аврамчук Е.Ф. Технология системного моделирования / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др.; Под общ. Ред. С.В. Емельянова – М.: Машиностроение; - Берлин: Техник, 1988. – 520 с.

8. Максимей И.В. Имитационное моделирование на ЭВМ. - М.: Радио и связь, 1988. - 232 с.

9. Имитационное моделирование производственных систем / Под ред. А. А. Вавилова. - М.: Машиностроение; - Берлин: Ферлаг Техник, 1983. – 416 с.

УДК 622.273.2:65.01.011.56

Воронежский государственный университет инженерных технологий, кафедра «Информационные технологии моделирования и управления»

*Канд. техн. наук, доцент Л.А. Коробова
Канд. техн. наук, доцент К.Н. Матусов
Нач. бюро ПО, ассистент О.А. Гордиенко
Ведущий программист, ассистент И.С. Кутявин*

*Россия, г.Воронеж, тел.: 255-25-50
E-mail: kutjv2004@mail.ru*

Voronezh state university of engineering technologies, «Information Technologies of Modelling and Management» chair

*Ph. D. in Engineering, associate professor L.A.Korobova
Ph. D. in Engineering, associate professor K.N.Matusov
Chief of bureau of the software, assistant O.A.Gordiyenko
Leading programmer, assistant I.S.Kutyavin*

*Russia, Voronezh, ph.: 255-25-50
E-mail: kutjv2004@mail.ru*

Л.А. Коробова, К.Н. Матусов, О.А. Гордиенко, И.С. Кутявин

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВА ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Выявлены зависимости между параметрами состояния закладочного массива и процессами приготовления закладочных смесей, определены цели управления, предложена структура интегрированной организационно-технологической системы производства закладочных работ, положенная в основу автоматизации управления производством закладочных работ.

Ключевые слова: производство, закладочные работы, закладочная смесь, система, организация, технология, управление, цель, интеграция, структура.

L.A. Korobova, K.N. Matusov, O.A. Gordienko, I.S. Kutyavin

THE SYSTEM ANALYSIS PRODUCTION FILLING OPERATIONS

The revealed dependencies between parameter of the condition filling operations array and process of the preparation filling operations mixtures, is determined purposes of management, is offered structure integrated organizing-technological system production filling operations prescribed in base of the automations of management production filling operations.

Keywords: production, stowage works, stowage mix, system, organization, technology, management, purpose, integration, structure.

Технология закладочных работ при разработке рудных месторождений принципиально не отличается от технологий монолитного бетона, применяемой при строительстве зданий и сооружений с транспортировкой бетонной смеси по трубопроводам [1]. Твердеющая смесь при закладочных работах приготавливается из цемента (вяжущий компонент), хвостов производства

(инертный заполнитель) и воды (растворитель). Технология приготовления твердеющей смеси включает следующие основные операции [2]: подачу заполнителя в бункеры; дозировку заполнителя; прием цемента в силоса; дозировку цемента и воды; перемешивание компонентов в смесителе; перемешивание смеси в взвихрателе; транспортировку смеси к месту закладки (в закладочную камеру); закладку смеси в выработанное пространство (камеру) рудного тела. Принципиальная схема закладочного ком-

© Коробова Л.А., Матусов К.Н., Гордиенко О.А., Кутявин И.С., 2013