

**АГРЕГАТИВНОЕ ОПИСАНИЕ
ТРАССОВЫХ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ
СИСТЕМ
В СОСТАВЕ АСУ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Л.Ч. Угоренко
(представил д.т.н., проф. Е.И. Бобырь)

В основе предлагаемого подхода к моделированию параллельно функционирующих и асинхронно взаимодействующих вычислительных процессов лежит метод синтеза стохастическо-детерминированных временных сетей Петри, использующий трассировочные данные. Дополнительно вводимые отношения следования и параллелизма между процессами, а также понятия ресурсов позволяют построить агрегативную сетевую модель, обладающую расширенными моделируемыми возможностями.

Постановка проблемы. На этапе проектирования программных средств, входящих в состав автоматизированных систем управления (АСУ) реального времени, важной задачей является оценка эффективности функционирования их различных компонентов. Общим подходом к решению этой проблемы является построение комплексной модели вычислительной системы, состоящей из модели внешних воздействий (рабочей нагрузки), генерирующей заявки на обслуживание, и модели системы, обеспечивающей их обработку [1]. Особенности организации вычислительного процесса, принципы построения и задачи, решаемые АСУ, выдвигают определенные требования как к математическому аппарату, используемому при моделировании, так и к моделям, которые должны в первую очередь обеспечивать необходимую степень адекватности реальным системам.

Анализ литературы. Подробный анализ различных способов описания моделей вычислительных систем и рабочей нагрузки проведен в [2]. Там же предложен метод, позволяющий синтезировать стохастическо-детерминированную временную сеть Петри (СДВСП) [3] на основе трассировочных данных о функционировании вычислительных средств. Получаемая модель сочетает достоинства трассовых и стохастических моделей и представляет собой замкнутую ординарную активную безопасную

сеть автоматного типа [4]. Причинно-следственные связи между событиями и их временные характеристики определяются на основе статистического анализа данных, получаемых при трассировке процессов функционирования вычислительной системы [1, 5]. Показано, что такой подход к синтезу стохастическо-детерминированной временной сети Петри может быть применен как для создания модели рабочей нагрузки, так и модели системы.

Цель статьи. Рассмотренный метод не в полной мере позволяет реализовать мощные возможности аппарата сетей Петри, непосредственно разработанного для анализа параллельно функционирующих и асинхронно взаимодействующих компонентов, и требует уточнения условий и способов его применения.

Свойства синтезируемой СДВСП с позиции теории сетей. В основе синтеза СДВСП лежит выделение N типов анализируемых событий $T = \{t_0, t_1, \dots, t_N\}$, соответствующих переходам сети. Свободным языком сети Петри называется множество L всех возможных последовательностей срабатывания переходов [4], т.е. множество слов, составленных из символов событий алфавита T .

Трасса событий, зарегистрированных в вычислительной системе с помощью измерительных средств, рассматривается как конечное подмножество $L' \in L$ слов, порождаемых искомой сетью Петри. Обозначим через Λ класс языков сетей любого типа, образованных с помощью определенных на всех переходах символов некоторого алфавита. Доказано [4], что если $L' \in \Lambda$, то проблемы эквивалентности и включения для такого языка являются неразрешимыми. Это означает принципиальную невозможность определить, изменится ли язык сети, если в нее добавить (или удалить) некоторый переход. Таким образом, в общем случае корректность представления трассы событий сетью Петри не может быть строго доказана.

Однако перечисленные проблемы разрешимы для класса Λ_A – регулярных языков, порождаемых, в частности, конечными автоматами. Это означает, что для применения метода синтеза СДВСП следует анализировать трассировочные данные процессов, состоящих из событий, которые удовлетворяют условиям последовательности и альтернативности (но не параллельности). В этом случае является обоснованным взаимнооднозначное соответствие между измеренной трассой и трассой событий, порождаемой сетью Петри.

В [4] введено понятие развертки сети Петри в ацикличную сеть-процесс и исследованы способы такого преобразования. Метод синтеза СДВСП, применимый для последовательно-альтернативных процессов,

позволяет решить не рассматриваемую ранее обратную задачу. Такое преобразование предлагается назвать сверткой сети-процесса в сеть Петри.

Агрегативное объединение СДВСП. С позиций структурного подхода наиболее общей формализованной схемой представления функционирующей вычислительной системы является ее описание в виде агрегативной системы [5, 6], образуемой путем соединения нескольких взаимодействующих между собой агрегатов. Под агрегатом в нашем случае будем понимать свертку i -го процесса вида

$$NP^i = \{P^i, T^i, F^i, GV^i, GS^i, M_0^i\},$$

где P^i – множество позиций условий выполнения событий i -го процесса; T^i – множество переходов, соответствующее множеству событий i -го процесса; $F^i \subseteq P^i \times T^i \cup T^i \times P^i$ – отношение инцидентности между множествами позиций и переходов; GV^i – функция соответствия переходам случайных величин времени выполнения событий i -го процесса; GS^i – функция определения параметров групповых переходов, описывающих недетерминированность развития процесса; M_0^i – начальная маркировка.

Для произвольного элемента $a \in A$ определим через $X(a)$ множество его входных, а через $Y(a)$ – множество его выходных элементов. Тогда структура NP^i удовлетворяет условиям:

- 1) $P^i \cap T^i = \emptyset$ и $P^i \cup T^i \neq \emptyset$;
- 2) $\forall a \in P^i \cup T^i, \exists b \in P^i \cup T^i : b \in X(a) \vee b \in Y(a)$, т.е. любой элемент сети инцидентен хотя бы одному элементу другого типа;
- 3) $\forall t \in T^i : X(t) \neq \emptyset \wedge Y(t) \neq \emptyset$, т.е. любой переход имеет хотя бы одно входное и одно выходное место;
- 4) $N^i = \{p \mid X(p) = \emptyset\}$ – единственная позиция, не имеющая входных переходов, называемая головной позицией;
- 5) $M_0^i(p) = \begin{cases} 1, & p \in N^i \\ 0, & p \notin N^i \end{cases}$, где N^i – единственная позиция, называемая начальной.

СДВСП рассмотренного вида обладает всеми признаками агрегата [6]: в произвольный момент времени находится в одном из множества возможных состояний, определяемого предысторией и входными (управляющими) сигналами, и выдает за конечное время конечное число выходных сигналов-событий.

Для введения отношений следования и параллелизма между процессами такой структуры предлагается введение дополнительных дуг, связыва-

ющих внутренние переходы одной сети с головной позицией другой (рис. 1). Такое агрегативное объединение СДВСП является расширением понятия параллельных ациклических сетей действий, или А-сетей [4], используемых для представлений параллельно-альтернативных процессов. Появление метки в головной позиции рассматривается как поступление требования на выполнение процесса, которое организуется при условии его готовности, т.е. при наличии метки в начальной позиции.

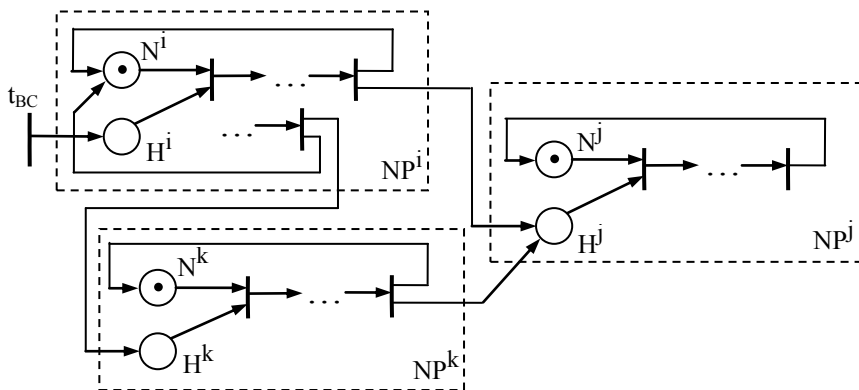


Рис. 1. Агрегативная модель взаимодействия процессов, представленных стохастическо-детерминированными временными сетями Петри

Предложенная модель системы может быть легко дополнена моделью рабочей нагрузки, в данном простейшем случае описываемой переходом t_{BC} , генерирующим внешние заявки на обслуживание.

Полученная агрегативная сеть, с точки зрения теории сетей Петри, является конечной, правильной (т.е. не имеющей тупиковой разметки), живой (т.е. не имеющей мертвых переходов), К-плотной [4] и содержащей циклические компоненты, что особенно характерно для функционирования вычислительных систем в составе АСУ реального времени.

Рассмотренный подход к построению сети базируется на концептуальной модели функционирования вычислительных средств как совокупности реализаций параллельных взаимодействующих процессов [7, 8, 9]. Это позволяет исследовать в первую очередь динамику поведения программных компонентов системы и их алгоритмические свойства.

Описание разделяемых ресурсов. С целью расширения моделирующих возможностей агрегативной сети, а именно учета аппаратных компонентов вычислительных средств, предлагается введение в сеть дополнительных позиций $p_C \in P_C$, называемых ресурсами, и удовлетворяющих

условиям:

1) $\forall p_C \in P_C: M_0^C(P) \geq 1$, означающего, что все позиции-ресурсы имеют разметку, отличную от нулевой;

2) $\forall p_C \in P_C: |X(p_C)| = |Y(p_C)| > 1$, означающего, что из каждой позиции-ресурса выходит столько же дуг, сколько и входит, причем минимум две;

3) $Y(p_C) \in Y(N^i)$, т.е. выходные дуги, означающие захват ресурса, так же как и дуги из головных позиций сети-процесса, разрешают его выполнение;

4) $X(p_C) \subseteq T^i$, т.е. процесс в ходе своего выполнения обязан освободить ресурс.

В общем случае процесс предполагает несколько путей своего развития, каждый из которых по условию 4 должен предусмотреть освобождение ресурса, что противоречит условию 2. Однако поскольку процесс конечен, всегда возможно введение в структуру СДВСП дополнительного состояния, соответствующего окончанию процесса, и простого (не временного) перехода из этого состояния в начальное, не влияющего на временные характеристики процесса.

Определение ресурсов позволяет естественным образом описать конкуренцию процессов за аппаратные средства вычислительной системы. Например, выполнение трех осуществляющих прием-передачу данных процессов, два из которых реализуют обмен информации с внешним накопителем на жестком диске, в системе с двумя портами ввода-вывода может быть реализовано агрегативной сетью, представленной на рис. 2.

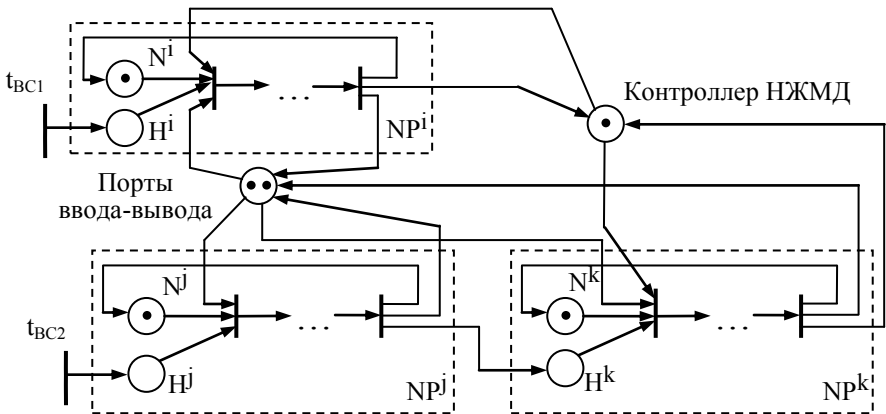


Рис. 2. Вариант моделирования конкурирующих за ресурсы процессов

Выводы. Таким образом, рассмотренные способы и условия по-

строения агрегативных сетей Петри, описывающих как программные, так и аппаратные компоненты вычислительных средств, позволяют повысить адекватность модели и значительно расширить совокупность анализируемых параметров системы. Достоверность результатов моделирования основана на измерительных трассах выполнения процессов, охватывающих большинство происходящих событий. Понятие процессов как минимальных независимых объектов, которым выделяется ресурсы, способы их представления и организация являются общими для различных вычислительных систем, что обеспечивает универсальность предложенного подхода к их моделированию и исследованию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феррари Д. Оценка производительности вычислительных систем. – М.: Мир, 1981. – 576 с.
2. Угоренко Л.Ч. Синтез трассовой модели функционирования вычислительных систем в составе АСУ реального времени с использованием аппарата сетей Петри // Системы обработки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 118 – 123.
3. Лобков С.Н., Фатхи В.А., Климович Г.И., Дуднакова О.В. Стохастическо-детерминированные временные сети Петри как средство описания моделей многопроцессорных вычислительных систем // УС и М. – 1991. – № 8. – С. 60 – 68.
4. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – 160 с.
5. Альянах И.Н. Моделирование вычислительных систем. – Л.: Машиностроение, 1988. – 223 с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
7. Авен О.И., Гурин Н.Н., Коган А.Я. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
8. Липаев В.В. Проектирование программных средств. – М.: Высш. шк., 1990. – 303 с.
9. Хоар Ч. Взаимодействующие последовательные процессы : Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 264 с.

Поступила 27.08.2003

УГОРЕНКО Леонид Чеславович, адъюнкт Харьковского военного университета. В 1990 году окончил Пушкинское ВВУРЭ. Область научных интересов – процессы функционирования вычислительных систем и сетей.
