

УДК 621.3.016.45

К. С. ШЕМЕТКОВ, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

Рассматривается ряд вопросов, связанных с моделированием цветными сетями Петри программно-аппаратных архитектур систем реального времени, и приводится пример реактивного устройства, а также механизма имитации отказов и взаимодействия системы с пользователем.

Многолетний опыт производства и эксплуатации средств вычислительной техники вызывает необходимость рассмотрения в неразрывной связи вопросов их конструирования и надежности. Для устройств, участвующих в управлении технологическими процессами, дорогостоящими объектами повышенной для человека опасности на наземном, водном, воздушном транспорте и космических аппаратах, надежность является важнейшим показателем.

Большинство вычислительных систем, управляющих процессами в особых ситуациях, обладают той или иной избыточностью, которая заключается в использовании дополнительных аппаратных или программных средств помимо функционально необходимых, для уменьшения последствий сбоев или отказов отдельных элементов таких систем, строящихся на базе нескольких процессоров и модулей памяти и взаимодействующих посредством специализированного программно-аппаратного комплекса. Любой из методов анализа не может быть использован для расчета всех показателей надежности современных микропроцессорных систем. Для его проведения необходимо применять несколько дополнительных методов. Так, для анализа надежности реактивных микропроцессорных систем управления движением поездов, наиболее целесообразно использовать метод марковских процессов, дополненный сетями Петри, который позволяет учесть сложные взаимодействия (конкуренция, конфликт, синхронизация, взаимное исключение и ограничение ресурса).

Реактивными системами обычно являются программно-аппаратные комплексы, где аппаратная составляющая используется для согласования управляющей (программной) логики с реальной средой (механизмы, датчики и т. п.). Часто для повышения производительности таких систем или в целях получения независимости работы их подсистем применяют параллельное выполнение задач как на программном, так и на аппаратном уровнях.

Отличительные черты этих систем:

- наличие ограниченного числа разделяемых ресурсов между параллельно работающими процессами (устройства ввода-вывода, коммутируемые устройства управления, каналы линий передачи информации и т. д.);

- необходимость качественной обработки нештатных ситуаций, связанных с отказами аппаратной части или непредсказуемой комбинацией поступающих входных воздействий на систему;

- акцентирование внимания на ресурсе, связанном со временем обработки поступающих данных или управлением внешними объектами по временной диаграмме.

Теория цветных (раскрашенных) сетей Петри разрабатывается более 20 лет рабочей группой университета г. Орхуса под руководством профессора Курта Йенсена и получена основная модель, включающая использование типов данных и иерархических конструкций, определены концепции динамических свойств, развивается теория методов анализа.

Раскрашенная сеть Петри (РСП) – это графоориентированный язык для проектирования, описания, имитации и контроля распределенных и параллельных систем, в которых графами показывается течение процесса, а конструкциями специального языка имитируется обработка данных. Сеть представляет собой направленный граф с двумя типами вершин – позициями и переходами, при этом дуги не могут соединять вершины одного типа, т. е. граф является двудольным. Множество позиций (обозначаются эллипсом) описывают состояния системы. Переходы (обозначают прямоугольниками) описывают условия изменения состояний.

В РСП немаловажную роль играет типизация данных, основанная на понятии множества цветов, которое аналогично типу в декларативных языках программирования. Соответственно, для манипуляции цветом применяют переменные, функции и другие элементы, известные из языков программирования. Ключевой элемент РСП – позиция – имеет определенное значение из множества цветов.

Для отражения динамических свойств в сеть Петри введено понятие разметки сети, которая реализуется с помощью фишек, размещаемых в позициях. Цвет позиции определяет тип фишек, которые могут там находиться. Конкретизация фишки, находящейся в данной позиции, определяется инициализирующим выражением начальной разметки или формируется в результате правильного выполнения шага итерации сети Петри.

Сеть представляет собой асинхронную систему, в которой фишки перемещаются по позициям через переходы. Переход может сработать (т. е. переместить фишку из входной позиции в выходную), если во всех входных позициях для данного перехода присутствует хотя бы одна фишка и выполнено логическое выражение, ограничивающее переход (спусковая функция).

Для анализа систем реального времени введем временной механизм, реализованный с помощью глобальных часов и так называемых штампов, которые несут фишки. Временной штамп фишки назначается в начальной разметке или при создании фишки переходом и наращивается выражениями на переходах или дугах. В результате фишка становится доступной для перехода, если ее штамп оказался меньше значения счетчика глобальных часов. Часы наращивают свое значение, если на данный момент времени ни один переход сети не разрешен.

Для реактивных систем позицию можно рассматривать как одно из состояний системы. Введение "цветной" фишки позволяет сократить число отображаемых однотипных позиций и дает возможность проектировщику пользоваться дополнительной информацией, которую несет фишка.

В качестве примера рассмотрим абстрактное устройство, для которого необходимо построить РСП. У этого управляющего устройства имеется конечное множество исполнительных механизмов, над которыми выполняются определенные процедуры, и задействовано ограниченное число ресурсов (например, источников питания). Процесс проведения работы с одним каналом представлен на рисунке 1.

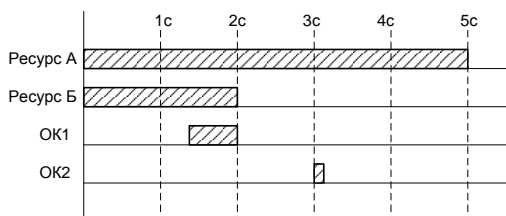


Рисунок 1 – Временная диаграмма работы одного процесса

Последовательность обработки выходных команд и входных сигналов:

- 1 Включаются n каналы.

2 Логика системы находит первый ожидающий канал и пытается захватить свободный ресурс типа А (всего таких ресурсов m).

3 Далее он пытается захватить ресурс типа Б (всего их k , при этом $n > m > k$).

4 После того как ресурсы задействованы, начинается выполнение временной диаграммы. Ресурс А при этом может быть захвачен, но обработка временной диаграммы начнется только после задействования ресурса Б.

5 На интервале 1,5–2 с система ожидает от канала ответного сигнала ОК1.

6 Через 2 с ресурс типа Б освобождается.

7 На временной отсечке 3 с система ожидает прихода сигнала ОК2.

8 Спустя 5 с освобождается ресурс типа А. Считается, что канал отработал.

9 В случае отсутствия одного из ответных сигналов, система должна освободить занятые этим каналом ресурсы и начать работу со следующим.

На рисунке 2 представлена РСП, построенная по описанному выше алгоритму.

По мере продвижения фишек, несущих номер канала, происходит последовательный захват свободных ресурсов А и Б, при этом фишки ресурсов перемещаются в позиции «Ресурс А свободен» и «Ресурс Б свободен». После того как канал «вышел» на выполнение временной диаграммы, фишками заполняются позиции таймеры, обеспечивающие затем перемещение фишек процессов по временным отсечкам, путем разрешения срабатывания переходов по глобальным часам. Зафиксирована разметка сети на временной отсечке глобальных часов, равной 5000. Первоначальная разметка предполагает наличие четырех фишек (представляющих каналы) в позиции «Ожидание захвата ресурса А», трех фишек в позиции «Ресурс А свободен» и двух фишек в позиции «Ресурс Б свободен».

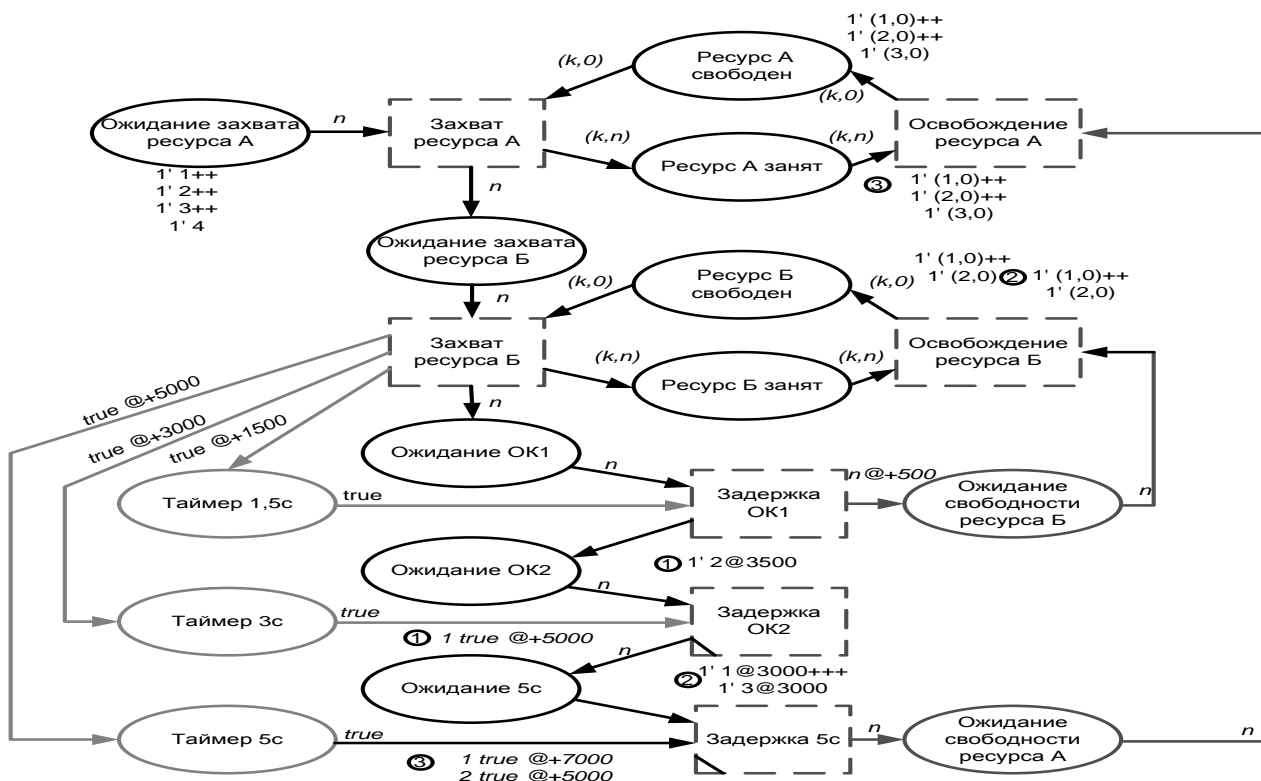


Рисунок 2 – РСП для моделирования абстрактного устройства

Рассмотренная РСП полностью моделирует временные характеристики, что делает доступным проверку динамических характеристик системы при отработке множества каналов. Но несмотря на это, она не решает проблемы анализа работы при отказных ситуациях, например, в случае отсутствия сигнала ОК1 или ОК2. Искусственное создание таких ситуаций может подчиняться predetermined сценариям (с целью проверки конкретного уязвимого места) или обладать свойством случайности.

В первом случае информацию об отказе может нести сама фишка в одном из компонентов цвета, который проверяется в переходе, создающем отказную ситуацию. Во втором – ответственность за случайность берет на себя РСП, путем введения перехода-развилки, осуществляющего перемещение фишки процесса либо на дальнейшую отработку алгоритма, либо на обработку отказа. Если мы введем в РСП нашего примера механизм имитации отказов, то заметим, что необходимо следить за очисткой позиций, представляющих таймеры.

В случае присутствия нескольких фишек в позиции и разрешенном переходе отсутствует приоритет их выбора. При наличии ограничений, вследствие которых необходимо работать с каналами по возрастанию их номеров, можно ввести в РСП специальную позицию-счетчик с фишкой, несущей номер следующей разрешенной фишки основного процесса.

Еще одной нерассмотренной особенностью построения РСП для реактивных систем является отражение результатов взаимодействия пользователей с системой в части выдачи команд управления. В этом случае для мо-

делирования можно применить отдельные позиции с фишками двух цветов (присутствие или отсутствие команды), которые через переходы связываются с основной цепью процесса. Необходимо снабдить эти фишки временными штампами с целью исключения элемента случайности в выборе фишек при работе РСП.

Таким образом, для оценки показателей надежности сложных микропроцессорных систем целесообразно применение раскрашенных сетей Петри, которые позволяют проектировать, описывать, имитировать и контролировать реактивные системы, учитывая временной параметр и такие понятия, как размножение и синхронизацию. Раскрашенная сеть Петри – модельный способ трактовки различных по характеру реальных элементов (в алгоритмах – номера оператора или этапа обработки; в мультипрограммных системах – номера задачи, ее приоритета и других атрибутов; для ресурсов – их типа, способа использования и т. д.).

Список литературы

- 1 **Гома, Х.** UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений : пер. с англ. / Х. Гома. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 704 с.
- 2 **Котов, В. Е.** Сети Петри / В. Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 284 с.
- 3 **Питерсон Дж.** Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 357 с.
- 4 **Шалыто, А. А.** Алгоритмизация и программирование для систем логического управления и "реактивных" систем / А. А. Шалыто // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 1. – С. 3–39.

Получено 26.10.2012

K. S. Shemetkov. The use of Petri nets for modeling complex microprocessor-based system.

Addresses a number of issues related to the simulation of hardware and software architectures, systems of real time-the time of coloured Petri nets and provides an example of jet devices, as well as a mechanism for simulating failures and co-operation of the system with the user.