

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКТИВНЫХ СИСТЕМ РАСКРАШЕННЫМИ СЕТЯМИ ПЕТРИ

К. С. ШЕТЕТКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Надежность для устройств, участвующих в управлении технологическими процессами, объектами повышенной для человека опасности, дорогостоящими объектами, наземным, водным, воздушным транспортом и космическими аппаратами, является важнейшим показателем. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики являются реактивными. Под реактивной подразумевается программно-аппаратная система реального времени, осуществляющая прием внешних входных воздействий, обработку их в соответствии с внутренним алгоритмом и выдачу необходимых выходных реакций. 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 уровне.

Отличительные черты реактивных 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.

Раскрашенная сеть Петри (РСП) – это графоориентированный язык для проектирования, описания, имитации и контроля распределенных и параллельных систем. Графическими примитивами показывается течение процесса, а конструкциями специального языка имитируется необходимая 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. Позиции называются *входными* для конкретного перехода, если направление дуги указывает на переход. Позиции называются *выходными* для перехода, если дуга ведет от перехода к позиции.

В отличие от "классических" сетей Петри, в раскрашенных 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 так называемых *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 для данного перехода), если во всех входных позициях для данного перехода присутствует хотя бы одна фишка и выполнено логическое выражение, ограничивающее переход (*спусковая функция*).

Дуги могут иметь пометки в виде выражений (переменных, констант или функций), определенных для множества цветов, и использоваться либо для "вычленения" компонентов сложного цвета фишек при определении условия срабатывания перехода, либо для изменения цвета фишки следующей позиции после срабатывания перехода.

Для анализа систем реального времени введен временной механизм, реализованный с помощью глобальных часов и так называемых *штампов*, которые несут фишки. Временной штамп фишки назначается при ее инициализации 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, уточняемое содержащейся в ней типизированной фишкой, причем отсутствие фишки указывает на "неактивность" данного состояния. Введение "цветной" фишки позволяет сократить число отображаемых однотипных состояний (позиций) и дает возможность проектировщику пользоваться дополнительной информацией, которую несет фишка.

Таким образом, можно отметить, что цветные сети Петри позволяют эффективно описывать и моделировать распределенные и параллельные системы. По сравнению с традиционными механизмами моделирования сети Петри обеспечивают большую наглядность и компактность описания.

УДК 621.38

## РАСШИРЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

К. С. ШЕТЕТКОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Функционирование современных сложных микропроцессорных систем характеризуется интенсивными связями между подсистемами при параллельной их работе. При этом возникновение отказа в одной из подсистем приводит к изменениям и нарушениям в работе других подсистем, причем последствия определяются не только характером отказа, но и временем его возникновения, фазовыми состояниями взаимодействующих подсистем и т. д. В этих условиях меры по обеспечению отказоустойчивости по отдельным типам отказов могут оказаться неэффективными. Отказ может быть блокирован и обезврежен в соответствующей подсистеме, однако последствия его могут привести к нарушению работы и отказам других подсистем.

Из всего множества средств моделирования систем с параллельными асинхронными процессами в настоящее время наиболее интенсивно развивается аппарат сетей Петри. Преимуществами этого аппарата являются наглядность, простота декомпозиции и стыковки моделей разного уровня, адаптация к различным расширениям и модификациям.

При введении расширений (дополнительных атрибутов), имитирующих отдельные отказы структура и размерность сети остается без изменений. Имитация отказов производится более быстро и наглядно, сохраняется адекватность модели. Недостатком, как и для любых расширений, является потеря аналитических возможностей сетей Петри и необходимость разработки новых имитационных программ. Принципиальной идеей предлагаемой системы моделирования является применение набора атрибутов, налагаемых на дуги. При этом не только более компактно и однозначно имитируются отказы, но и появляется возможность использования аналитических средств аппарата сетей Петри.

Если рассматривать элементарное событие (активность), то оно характеризуется тремя элементами: условиями выполнения, фактом выполнения и последствиями выполнения. Различные варианты отказа образуют следующую полную группу событий:

- условия выполнения события соблюдаются, событие не выполняется;
- условия выполнения события не соблюдаются, событие выполняется;
- событие выполняется, ряд его обязательных по спецификации последствий не выполняется;
- событие выполняется, выполняется ряд его последствий, не соответствующих спецификации.

В соответствии с этим положением, интерпретируя каждый переход как событие, вводятся понятия дуг L-, U-, N- и D-типа.

L-дуга – входная дуга  $(p^-, t)$  перехода  $t$ , обеспечивающая (при активности других входных дуг  $t$ ) его инициализацию как при наличии, так и при отсутствии соответствующей марки в позиции  $p^-$  («ложная входная марка»).

При этом условие срабатывания перехода  $t$ :  $\forall p \neq p^- : L(p) - F(p, t) \geq 0$ .

Маркировка  $L(p)$  при срабатывании  $t$  меняется на  $L^0(p)$  следующим образом:

$$\forall p \neq p^- : L^0(p) = L(p) - F(p, t) + H(t, p),$$

$$L^0(p^-) = L(p^-).$$

Введением L-дуг моделируются ситуации выполнения события при недостаточности условий его выполнения.

U-дуга – входная дуга  $(p^-, t)$  перехода  $t$  блокирует срабатывание перехода  $t$  при любых прочих условиях («потеря входной марки»). Моделирует ошибки, приводящие к невыполнению условий запуска событий.

N-дуга – выходная дуга  $(t, p^-)$  перехода  $t$ , не обеспечивающая при срабатывании  $t$  занесения марки в соответствующую позицию («потеря выходной марки»), т. е. маркировка  $L(p)$ ,  $p \in P$  при инициализации  $t$  меняется на  $L^0(p)$  следующим образом:

$$\forall p \neq p^- : L^0(p) = L(p) - F(p, t) + H(t, p),$$

$$L^0(p^-) = L(p^-).$$

При помощи N-дуг моделируются ситуации невыполнения тех или иных последствий событий, потеря сообщений и т. д.