

Графы используются для описания алгоритмов автоматического проектирования, в диаграммах машины конечных состояний, при решении задач маршрутизации потоков и т.д. Первые сведения об исследованиях в области теории синтеза ВСПВ были связаны с разработкой методов синтеза математических моделей и специализированных вычислительных устройств для комплекса имитационного моделирования [2]. Дальнейшее развитие вопроса нашло отражение в работах [1-3].

ЛИТЕРАТУРА

1 Жилияк, Н.А. Логико-комбинаторный подход к выбору оптимальных структур сложных технических систем. / Н. А. Жилияк.// Труды БГТУ. Сер. Физ.-мат. науки и информ. - 2008. - Вып. XVI. – С. 125 – 128.

2 Кобайло, А.С. Параллельно-конвейерные вычислители для систем реального времени. - Мн.: Приборостроение, 1995. - Вып. 14.

3 Жилияк, Н.А. Синтез вычислительных систем реального времени //Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Международной научно-технической конференции. - Мн.: БГТУ, 2006. С. 208 – 211.

УДК 519.95

М.П. Ревотюк, доц., канд. техн. наук;
Н.В. Хаджинова, инж. (БГУИР, г. Минск)

ПОЛИМОРФНЫЕ СЕТЕВЫЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Предмет рассмотрения – проектирование программного обеспечения систем управления организационно-технологического уровня с дискретным характером поведения. Цель исследования – определение в рамках современных объектных технологий проектирования конкретизируемых моделей процессов управления, согласованных с традиционными для таких технологий моделями конечных автоматов или сетей Петри [1,2].

Концептуальная схема моделей процессов императивного управления дискретным процессом, как известно, может быть представлена с выделением уровней планирования и реализации плана. Поведение системы на уровне планирования рассматривается на состояниях S_{plan} и F_{plan} , но на уровне исполнения они проецируются на состояния S_{real} и F_{real} соответственно. Реализуя контроль соответствия между запланированным R_{plan} и текущим R_{real} ходом процесса, система управления находится в состоянии обнаружения возмущения $E_{pl/r}$. Однако конечно-автоматный стиль представления системы, часто

достаточный для обсуждения схем реализации вычислительного процесса, менее конструктивен для построения процедур поиска управления. Соответствие $R_{plan} \leftrightarrow R_{real}$ необходимо учитывать, например, для многошаговых процессов с интерактивным назначением целевых состояний. Далее представляется способ представления такого соответствия сетевыми моделями, представляемыми иерархией полиморфных классов – полиморфными сетями [3].

В качестве атомарных элементов моделей рассматриваемых дискретных процессов выбраны переходные системы вида “условие – действие”, определяемые тройками множеств S_c , $S_c = \langle V_c, P_c, A_c \rangle$, где V_c – переменные состояния; P_c – условия на V_c , задаваемые вычислимыми предикатами; A_c – действия, биективно соответствующих условиям P_c .

Реализация принципа детализации и конкретизации описания в технологии объектно-ориентированного программирования, как известно, основана на модулях-функциях языка программирования. Определяя базовые классы в корне иерархии, удобно использовать расширения двух известных вариантов построения аппарата описания – временных сети Петри с задержками в переходах *TPN* (*Timed Petri Nets*) и систем переходов, определяемых средствами языка программирования C++ [3].

Показано, что для представления как однородных, так и иерархических и вложенных систем переходов достаточно использовать пятерку функций $S_c = (E_i, C_i, D_i, F_i, I_i)$, где E_i – условия активизации перехода; C_i – действия, вызываемые в системе при входе перехода в активное состояние; D_i – длительность во времени активной фазы; F_i – действие перехода при выходе из активного состояния; I_i – действия над переходом при внешнем прерывании. Индекс i соответствует экземпляру перехода.

Процесс активизации отдельного перехода системы S_c , подобно переходам сетей Петри, естественно связать с его восприимчивостью к изменению переменных состояния V_i : $V_i = \text{dom}(E_i) \cup \text{dom}(C_i) \cup \text{dom}(F_i) \cup \text{dom}(I_i)$. Здесь $\text{dom}(f)$ – множество переменных состояния, связываемых функцией f . Такое множество образуют глобальные переменные модуля программы, реализующего функцию f , а в случае, когда f – функция-элемент класса, $\text{dom}(f)$ может включать элементы данных класса.

Активная фаза использования модулей-функций языков процедурного типа является элементарным автоматным переходом. На пе-

переходах системы S_c можно формально построить однодольную сеть IPN , $IPN=(A,B,V)$, связывающую переходы A с потенциальной возможностью активизации. Здесь B – переменные состояния – аналог позиций, а $V=(A \cup C) \rightarrow \{0,1\}$.

Обозначим x и x' – множество входных и выходных элементов любой вершины x ориентированного графа, соответственно.

Структура смежности графа сети IPN в виде $FSF(Forward Star Form)$ определяется так:

$$\{a : a'\} = \{a : \{x \mid \text{dom}(E_a) \cap (\text{dom}(F_x) \cup \text{dom}(I_x)) \neq \emptyset, x \in A\}, a \in A\}.$$

Определение графа сети IPN использовано как для оптимизации управления, так и имитационного моделирования активности переходов.

Рекуррентная схема интерпретации процессов на сети IPN построена на основе понятий виртуального стартового перехода s и виртуального финишного перехода f , для которых справедливо

$$\begin{cases} s = \emptyset, s' = \{a \mid \text{dom}(E_a) \cap \text{dom}(F_s) \neq \emptyset\}, D_s = 0; \\ f' = \emptyset, D_f = 0; \\ A \leftarrow A \cup \{s\} \cup \{f\}. \end{cases}$$

Изменение состояния IPN при этом оказывается однозначно привязанным к моментам пассивизации переходов. Это влечет не только эффективную реализацию волновой схемы учета последствий изменения состояния сети, но и позволяет рассматривать внешние события в реальном времени как переходы специального вида. Состояние сети на любом этапе k представляется списком внутренних событий I_k , элементы которого – момент времени t_k и номер перехода $a \in A$:

$$\begin{cases} I_0 = \{(0, s)\}; \\ I_k = \{(t_i, a), i > k-1, a \in A\}, k > 0. \end{cases}$$

Вычислительная сложность обработки этапа пассивизации отдельного перехода x оценивается величиной $O(|x| \cdot |x'|)$, $x \in A$.

Показано, что построенный полиморфный класс интерпретации системы переходов обладает не только возможностями полиморфизма операторов изменения разметки сети, но позволяет задать закон управления последовательностью событий на описании графа IPN . Способ задания такого закона для IPN базируется на детализации графа связей переходов на основе множества $\text{dom}(E_i) \cup \text{dom}(C_i) \cup \text{dom}(F_i)$. Объем памяти для размещения статического описания IPN составляет

$$S_{IPN} = 1 + 3|A| + \sum_{a \in A} |a'|.$$

Это меньше объема памяти описания эквивалентных сетей расширенных *TPN*:

$$S_{TPN} = 4 + 5|A| + 2(|B| + \sum_{a \in A} |a'|) + 3 \sum_{a \in A} |a|.$$

Интерпретация процессов на сетях интересна для решения задач, связанных с контролем формальных свойств сети, например, живости, ограниченности и достижимости [1]. В случае неоднородных сетей переходов этот метод единственный. Однако в контуре управления полиморфная сеть используется как для поиска решений, так и обнаружения возмущений запланированных траекторий посредством расширения набора продукционных правил.

Практическое применение рассмотренного подхода иллюстрируется примером построения системы управления процессами компандирования при производстве смазочных масел. Входной портфель заявок проецируется на множество допустимых технологических маршрутов, оптимальный график выпуска и законы логического управления оборудованием, включая контроль условий безопасности. Иерархия базовых классов шаблона полиморфных сетей [2] для этого дополнена функциями выбора оптимальных технологических маршрутов в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
- 2 Ларман, К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования / К. Ларман; пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2007. – 736 с.
- 3 Ревотюк, М.П. Полиморфные сетевые модели дискретных процессов / М.П. Ревотюк, Н.В. Хаджинова. //Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’06, Москва, 30 января–2 февраля 2006 г.: труды V Междунар. конф. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2006.– С. 2042-2158.