

УДК 621. 9.048.4

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИНТЕЗ ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

*Аристов В.В.*

*Омский государственный технический университет, Омск*

Характерной особенностью современных технических систем является наличие комплексной системы управления. Такая система интегрирует в одно целое различные по целевой направленности контуры автоматического управления (автоматическое управление и регулирование физических параметров технологических процессов, автоматические защиты и блокировки, логическое управление конфигурациями) и функции супервизорного управления.

Схема типичного супервизорного управления дискретно-событийной системой (ДСС) показана на рисунке 1. Она состоит из четырех частей: ДСС, подлежащая контролю, супервизор, показания датчиков в качестве выходов из ДСС, и управляющих воздействий в качестве входов в ДСС.

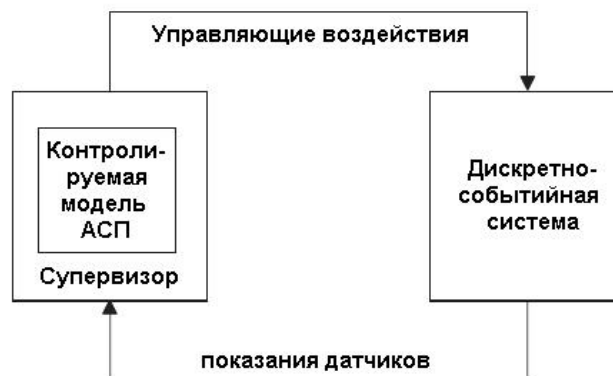


Рисунок 1 – Супервизорное управление ДСС

ДСС, т.е. объект управления и супервизор, как предполагается, функционируют параллельно. Когда событие происходит на объекте, это становится известно супервизору благодаря показаниям датчиков. В результате состояние супервизора изменяется. Поскольку супервизор связан с состояниями объекта обратной связью, контрольные действия полностью определяются текущим состоянием сети объекта управления. Супервизор в данном случае является моделью управления основного объекта.

Отличительная особенность дискретно-событийной системы (ДСС) – это разделение в исходных данных модели объекта –  $G$  и требований к его поведению –  $K$ , и затем постановка и решение задачи синтеза  $S$  – супервизора (управляющей компоненты ДСС), обеспечивающего поведение  $G$  в соответствии с требованиями  $K$ . Как правило,  $G$  и  $K$  определяются конечными автоматами, языками или сетями Петри (СП). Значительный успех в снижении сложности синтеза супервизора дает использование сетей Петри [1] из-за их мощности и гибкости.

В определении сети Петри нет понятия входов, выходов и соответственно функции выходов (как в конечных автоматах). При моделировании ДСС сетью Петри события представляются переходами, а строки событий – последовательностями срабатывания переходов. Таким образом, язык сети Петри  $S$  это множество строк  $L(S)$ , соответствующих вариантам срабатывания переходов в  $S$ .

В ДСС-моделировании сеть Петри, моделирующую  $G$ , называют  $S_p$ -сетью процесса, а компоненту сети, моделирующую супервизор, называют управляющей сетью  $S_c$  (сетью контроллера). Пусть моделирующая ДСС сеть Петри  $S = \{S_p \cup S_c\}$  включает  $q = |T_p| + |T_c|$  переходов. Тогда СП  $q$  расширяется дополнительными позициями и между переходами и дополнительными позициями устанавливается взаимно-однозначное соответствие. Между дополнительными позициями и переходами сети  $\{S_p \cup S_c\}$  вводятся ребра по следующему правилу: все дополнительные позиции  $p_i$ , соответствующие переходам  $t_i$  включаются во входные множества  $pre(t_i)$  соответствующих переходов; позиции  $p_j$ , соответствующие управляемым переходам  $t_j$ , включаются в выходные множества  $post(t_i)$  этих переходов. Схематично дополнения представлены на рисунке 2 [2].

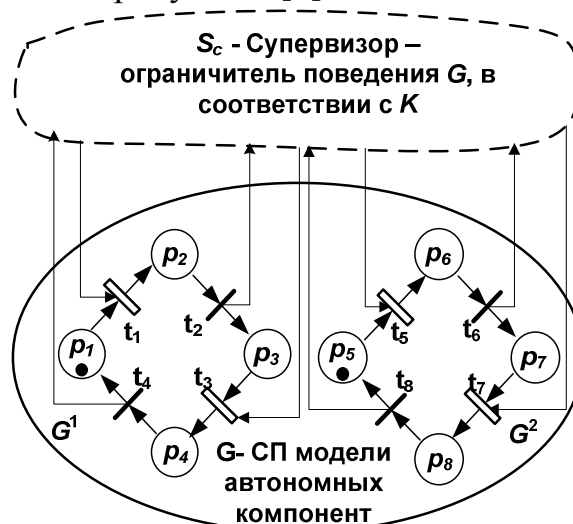


Рисунок 2 – Модель СУ в ДСС в сетях Петри

Сети Петри как основа для проектирования супервизорного управления ДСС имеют ряд преимуществ перед конечными автоматами. Основное достоинство сетей Петри состоит в возможности отображения в виде одной компоненты взаимодействия нескольких параллельно-последовательных процессов. Кроме того, состояние сети Петри представлены возможными маркировками, а не вершинами графа переходов конечного автомата, что позволяет сделать описание системы более компактным, т.к. структура сети может оставаться неизменно малой, даже при росте числа маркировок, а следовательно и числа состояний.

Методы в работах по синтезу супервизора на СП опираются на выявление запрещенных состояний (путем анализа дерева достижимых маркировок и сопоставления их с технологическими требованиями – спецификацией) и

построение дополнительных сетевых конструкций (из позиций и переходов), не допускающих переход в маркировки, соответствующие этим состояниям. В работе [1] предложен метод синтеза супервизора (метод домино), основанный на модели объекта, заданной совокупностью автоматных сетей Петри и спецификации, определенной языком К (последовательностью срабатывания управляемых переходов).

Основная идея метода основывается на следующем свойстве циклических реактивных систем с форсируемыми событиями: каждая следующая операция объекта выполняется по событию, завершающему предшествующую операцию (подобно падению костяшек домино), или внешнему событию (например, при пуске или выборе). В этом случае задача супервизора – организовать передачу управления от механизма, выполнившего операцию, к механизму, операция которого должна выполняться последующей. В результате синтеза соответствующей сети Петри представленной на рисунке 3. явилось построение дополнительной сети из 4-х управляющих позиций ( $p_{c1}, \dots, p_{c4}$ ) реализующей управление, так, что выполняется последовательность  $u := t_1 t_2 t_5 t_6 t_3 t_4 t_7 t_8 t_1$ .

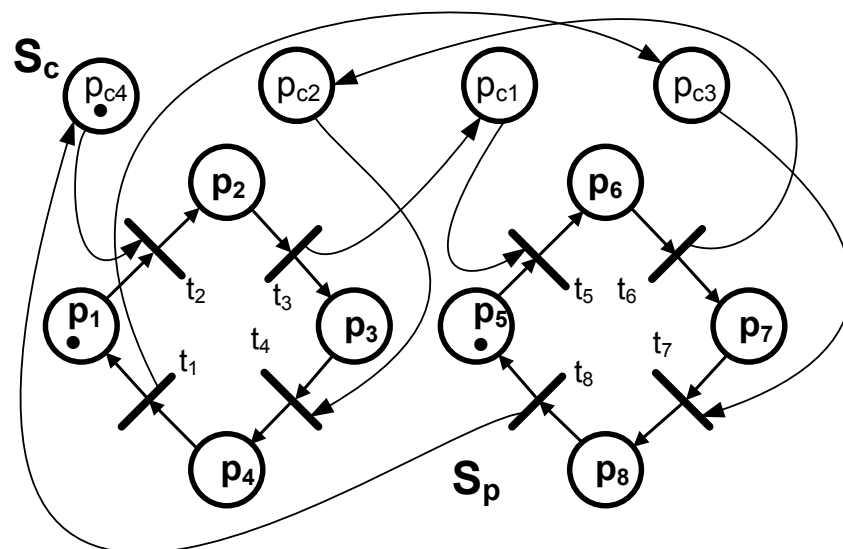


Рисунок 3 – Сеть Петри с управляющими позициями

Для структурированного описания объекта  $G$  на автоматных сетях Петри и спецификации в языке последовательности срабатывания переходов  $L(G)$  введено понятие *несвязанной* пары переходов (н-пары). Процедура синтеза вводит позицию, передающую управление, для каждой н-пары подобно каналу связи. Эти каналы «работают» только в момент активности соответствующей н-пары, а после передачи управления в следующие переходы не участвуют в процессе активизации других переходов, пока в следующем цикле они не будут вновь востребованы. Применяя правила совместимости состояний и проделав традиционные преобразования, для данного примера можно сократить число позиций в два раза (рисунок 4).

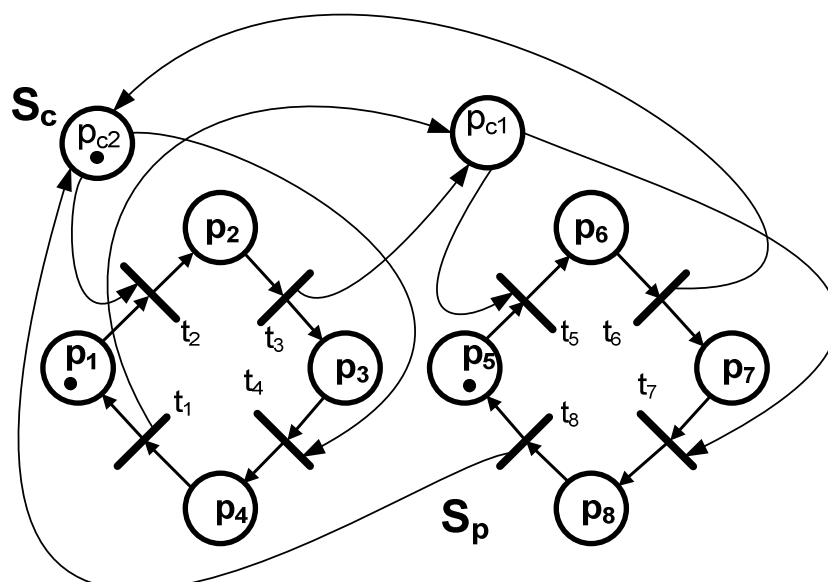


Рисунок 4 – Преобразованная сеть Петри

В работе [3] предлагается метод синтеза сети путем преобразования системы булевых функций (СБФ) в сеть Петри с ограничительными дугами (СПОД). Модель технологически востребованного поведения того же рассматриваемого объекта представлена графом операций – рисунок 5.

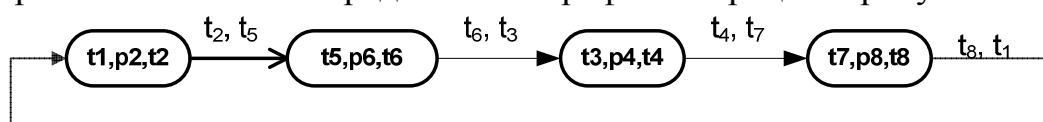


Рисунок 5 – Граф операций технологического объекта

Поведение базовой СП, соответствующее графу операций, можно представить языком  $L(G) = \{t_1, t_2, t_5, t_6, t_3, t_4, t_7, t_8, t_1\}^*$  (в данном примере – циклически повторяющаяся строка переходов). Соответствующие для данного примера н-пары:  $(t_2, t_5)$ ,  $(t_6, t_4)$ ,  $(t_4, t_7)$ ,  $(t_8, t_1)$ . Очевидно, что каждая н-пара соответствует одному ребру графа операций  $G_a$  поэтому их можно представить как пометки ребер.

Задачи супервизора структурированной ДС-модели можно определять как функцию конечного автомата, управляющего н-парами, который воспринимает состояние  $G$  и, в соответствии с последовательностями, заданными в  $G_a$ , вырабатывает команды (сигналы) разрешающие срабатывание вторых переходов в н-парах.

Для рассматриваемого примера в соответствии с определением по графу операций разрабатывается граф переходов автомата управлением срабатыванием н-пар, как это представлено на рисунке 6. Структура графа (вершины и переходы) повторяет структуры  $G_a$ , но взвешивание представляет входные наборы  $\theta$  и соответствующие входным наборам наборы значений  $Z$  (они представлены полностью в правой части таблицы 1). На рисунке 6 нулевые выходные наборы представлены как 0.

Таблица 1

$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$Z_1$	$Z_3$	$Z_5$	$Z_8$
1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

По графу переходов легко проследить как осуществляется переход из любого состояния в следующее: как только имеет место входной набор, соответствующий переходу в следующее состояние, то в следующем состоянии на этом входном наборе переменная  $z_i$ , определенная как управляющая для соответствующей  $n$ -пары, равна 1.

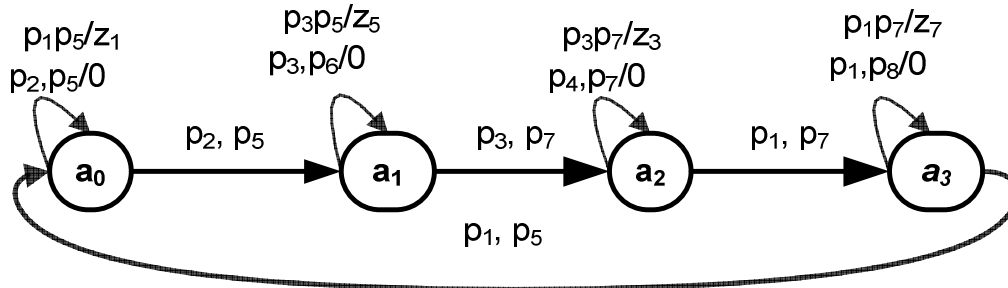
Рисунок 6 – Граф переходов автомата управления  $n$ -парами.

Таблица 1 для данного примера является таблицей истинности для переменных  $Z$  непротиворечиво определяющихся наборами  $P$ . Таким образом, эта таблица есть комбинационный (однотактный) эквивалент и для каждого выхода  $Z$ , можно применить любой из методов минимизации булевых функций, например, метод Квайна-Маккласки [4]. В результате получаем следующую СБФ:

$$z_1 = p_1 p_5; z_3 = p_3 p_7; z_5 = p_3 p_5; z_7 = p_1 p_7.$$

Легко убедиться, что каждая  $z_i$  равна 1 только в состоянии, требующем срабатывания соответствующей  $n$ -пары. Далее по системе булевых функций управления  $n$ -парами производится конструирование СПОД. По термам функции управления  $n$ -парами определяются подмножества входных ограничивающих дуг для второго перехода в  $n$ -паре.

На рисунке 7 представлена СПОД, синтезированная для варианта поведения рассматриваемого объекта управления по СБФ.

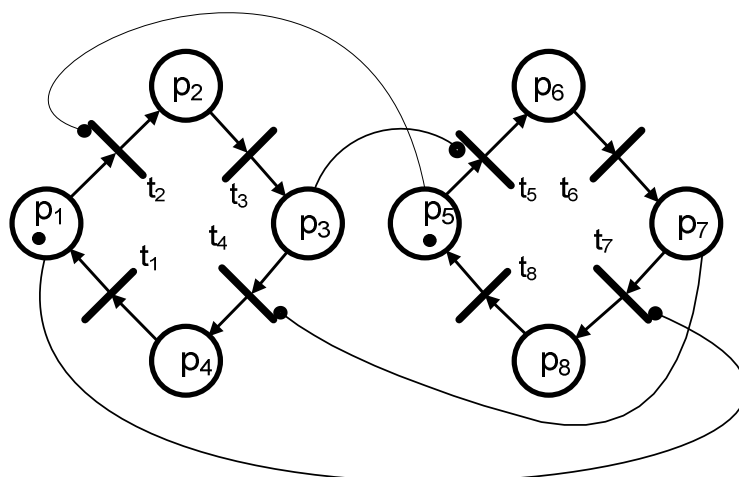


Рисунок 7 – Сети Петри с ограничивающими дугами

Если сравнить СПОД, определяющую поведение объекта управления с решением этого же примера методом домино, то следует констатировать – решение на СПОД показывает существенное сокращение сложности супервизора по числу позиций и количеству ребер.

Полученные в результате синтеза СП, моделирующие супервизор, позволяют осуществить его трансляцию в программу логического контроллера на языке релейной логики (РКС) [3].

#### Список литературы

1. Амбарцумян А.А. Моделирование и синтез супервизорного управления на сетях Петри для рассредоточенных объектов Часть 1. Механизм взаимодействия и базовый метод // АиТ. – 2011. – №8. – С. 151-169.
2. Амбарцумян А.А. Сети Петри как аппарат моделирования и синтеза супервизорного управления дискретно-событийной системы / А.А. Амбарцумян, В.В. Аристов // Динамика систем, механизмов и машин: Матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. – Кн. 5. – С. 217-220.
3. Амбарцумян А.А., Шафикова Р.Р. Супервизорное управление структурированным объектом на основе сетей Петри с ограничивающими дугами / А.А. Амбарцумян, Р.Р. Шафикова / Труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12. – М.:ИПУ РАН, 2012. – С. 1746-1758.
4. Колдуэлл С. Логический синтез релейных устройств. – М.: Наука, 1961.