

Н.Г. Топольский, А.В. Фирсов, К.А. Афанасьев
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСТРАНЕНИЯ
НЕИСПРАВНОСТИ СЕТЯМИ ПЕТРИ**

В статье рассмотрены вопросы моделирования структурированных систем мониторинга инженерных систем с использованием математического аппарата сетей Петри.

Исследованы поведенческие свойства сетей Петри при моделировании СМИС.

Практическим результатом является тот факт что полученная информация о структуре и динамическом поведении моделируемой системы необходима для оценки моделируемой системы и в случае необходимости выработки предложений по ее усовершенствованию и изменению.

Введение

Важная роль в обеспечении безопасности и эффективности эксплуатации потенциально опасного объекта (ПОО) отводится структурированным системам мониторинга инженерными системами, систем безопасности и управления ПОО зданий и сооружений (СМИС) (1).

Современная концепция построения безопасности сложных многофункциональных зданий и сооружений рассматривает потенциально опасные объекты и ее СМИС как единую интегрированную систему. В соответствии с (1,2,3) СМИС ПОО выполняет как информационные функции (сбор и обработка информации и ее представление персоналу в удобной форме и включает в себя) так и управляющие функции (безопасность, автоматическое управление и регулирование, блокировка, дистанционное управление во всех режимах работы ПОО). Структура СМИС определяется для каждого ПОО индивидуально, однако наиболее часто встречающимися системами интегрированными в СМИС являются: автоматизированная система пожаровзрывобезопасности (АСПВБ); автоматизированная система защиты от несанкционированного доступа (АСЗНСД); системы технологического жизнеобеспечения (связи, транспортировки, водо-, энерго-, газо- и теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования, удаления отходов и др.) (СТЖ); система информационной поддержки принятия решения (СИППР), системы аварийной безопасности (САБ); система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ); система гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (СГОЧС); система управления хозяйственным механизмом объекта (СУХМО); система информационной безопасности (СИБ) и другие системы (3).

Разработка и внедрение СМИС часто осуществляется разнообразными фирмами специализирующиеся в данной отрасли, а комплексирование системы – фирмой системным администратором.

В настоящее время бурно развивается современная теория и практика построения СМИС и других систем управления. Во многих работах особое внимание уделяется качеству управления, устойчивости, безотказности СМИС. Вопросы структуры СМИС рассматриваются в основном с точки зрения обеспечения качества реагирования на те или иные запросы. Наибольшее продвижение в изучении структурных свойств системы получено в теории конечных автоматов и логических систем (4,5). В данной статье в основу моделирования СМИС положен теоретический аппарат сетей Петри (6,7,8,9). Статья является развитием подхода изложенного в публикации авторов (9).

Сети Петри, предложенные для моделирования асинхронных параллельных процессов в дискретных системах, получили значительное развитие и применение в разнообразных приложениях, в том числе связанных с логическим управлением. Данный теоретический аппарат удачно сочетает в себе наглядность представления процессов, мощность моделирования и мощность разрешения. Сеть Петри удачно представляет структуру управления программ и поэтому является эффективной при моделировании упорядочения инструкций и потока информации.

В сети Петри условия моделируются позициями, события — переходами. При этом входы перехода являются предусловиями соответствующего события; выходы — постусловиями. Возникновение события моделируется запуском соответствующего перехода. Выполнение условия представляется фишкой в позиции, соответствующей этому условию. Запуск перехода удаляет фишки, представляющие выполнение предусловий и образует новые фишки, которые представляют выполнение постусловий.

Важная особенность сетей Петри — это их асинхронная природа. В сетях Петри отсутствует измерение времени. В них учитывается лишь важнейшее свойство времени — частичное упорядочение событий.

Моделирование процесса устранения неисправности в АСПВБ

Сети Петри это инструмент для математического моделирования и исследования сложных систем. Цель представления системы в виде сети Петри и последующего анализа этой сети состоит в получении важной информации о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и возможности моделирования программного обеспечения для рассматриваемой системы.

Сеть Петри представляет собой ориентированный граф с вершинами двух типов (позициями и переходами), в котором дугами могут соединяться только вершины различных типов. В позиции сети помещаются специальные

маркеры (“фишки”), перемещение которых и отображает динамику моделируемой системы. Изменение маркировки (движение маркеров) происходит в результате выполнения (срабатывания) перехода на основе соответствующего внешнего события. Точнее, переход срабатывает, если во всех его входных позициях имеются маркеры и происходит соответствующее переходу событие. При этом из каждой входной позиции срабатываемого перехода маркер удаляется, а в каждую выходную позицию заносится.

Метод моделирования сбоя системы сетями Петри использовался для определения состояния системы в момент дестабилизирующих факторов и нахождения оптимального режима работы системы и устранения изъянов в функционировании системы. В данной работе объектом исследования является процесс возникновения неисправности в СМИС ПОО и его устранения на примере автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности (АСПВБ) входящей в СМИС как составная часть (подсистемы) (13).

Опишем с помощью сети Петри процессы возникновения и устранения неисправностей в АСПВБ (например при неисправном датчике обнаружения пожара), состоящей из N однотипных датчиков. Пусть в запасе имеется один исправный датчик, известны статистические данные об интенсивностях возникновения поломок и длительности таких операций, как поиск неисправностей, замена и ремонт отказавшего датчика в АСПВБ. На рис.1 представлена соответствующая сеть Петри.

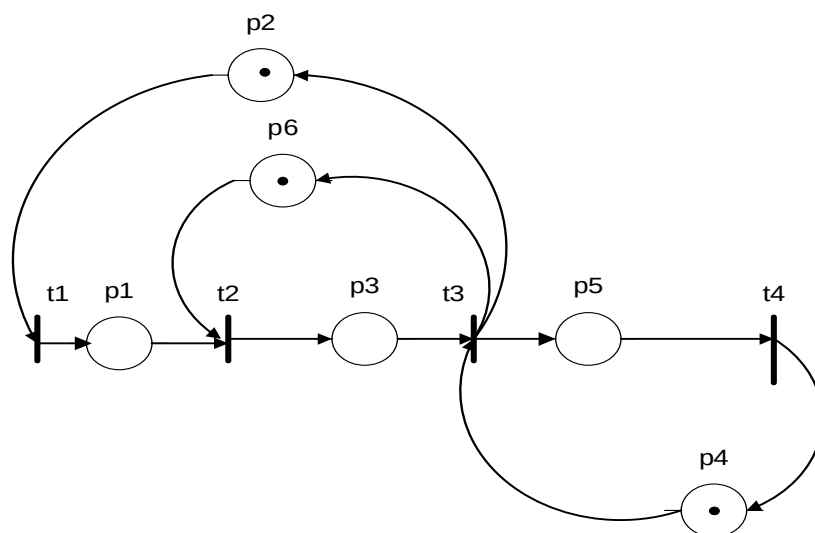


Рис. 1. Сеть Петри моделирующая процесс возникновения и устранения неисправного датчика обнаружения пожара

Представим сеть в виде основополагающих понятий: события и условия.

События	Предусловия	Постусловия
1	нет	б, в
2	а, б, в,	г, д
3	г, д	е, ж, а
4	ж	нет

Условиями для сети являются:

- а) система работает в дежурной режиме;
- б) обнаружен сбой в системе;
- в) обнаружение неисправности (отказ датчика);
- г) ремонтная бригада в ожидании исправного датчика для замены неисправного;
- д) поступил исправный датчик для замены неисправного;
- е) замена неисправного датчика;
- ж) неисправность устранена.

Событиями для сети являются:

- 1 - сигнал поступил;
- 2 - поиск неисправности;
- 3 – ремонт;
- 4 – восстановление системы.

Определим расширенную входную функцию I и выходную функцию O .

Ниже представлена структура сети Петри в виде четверки, которая состоит из множества позиций (P), множества переходов (T), входной функции ($I : P \rightarrow T^\infty$), и выходной функции ($O : P \rightarrow T^\infty$)

$$I : P \rightarrow T^\infty, O : P \rightarrow T^\infty$$

таким образом, что

$$\#(t_j, I(p_j)) = \#(p_j, O(t_j)), \#(t_j, O(p_j)) = \#(p_j, I(t_j)).$$

$$I(p_1) = \{t_1\}, O(p_1) = \{t_2\},$$

$$I(p_2) = \{t_3\}, O(p_2) = \{t_1\},$$

$$I(p_3) = \{t_2\}, O(p_3) = \{t_3\},$$

$$I(p_4) = \{t_4\}, O(p_4) = \{t_3\},$$

$$I(p_5) = \{t_3\}, O(p_5) = \{t_4\},$$

$$I(p_6) = \{t_3\}, O(p_6) = \{t_2\}.$$

$$C = (P, T, I, O),$$

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\},$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\},$$

$$I(t_1) = \{p_2\}, O(t_1) = \{p_1\},$$

$$\begin{aligned} I(t_2) &= \{p_1, p_6\}, & O(t_2) &= \{p_3\}, \\ I(t_3) &= \{p_3, p_4\}, & O(t_3) &= \{p_2, p_5, p_6\}, \\ I(t_4) &= \{p_5\}, & O(t_4) &= \{p_4\}. \end{aligned}$$

Проанализируем сеть Петри на основе матричных уравнений. Альтернативным по отношению к определению сети Петри в виде (P, T, I, O) является определение двух матриц D^+ и D^- ,

где $D = D^+ - D^-$ - составная матрица изменений

Каждая матрица имеет m строк (по одной на переход) и n столбцов (по одному на позицию). Определим $D^- [j, i] = \#(p_j, I(t_i))$, а $D^+ [j, i] = \#(p_j, O(t_i))$. D^- определяет входы в переходы, D^+ - выходы.

$$D^- = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad D^+ = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} +1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

В начальной маркировке $\mu = (0, 1, 0, 1, 0, 1)$ переход t_1 разрешен и приводит к маркировке μ' , где

$$\mu' = (0, 1, 0, 1, 0, 1) + (1, 0, 0, 0) \cdot \begin{bmatrix} +1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & +1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & +1 & -1 & -1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & +1 & -1 & 0 \end{bmatrix} = (1, 0, 0, 1, 0, 1)$$

$(0, 1, 0, 1, 0, 1)$

$\downarrow t_1$

$(1, 0, 0, 1, 0, 1)$

$\downarrow t_2$

$(0, 0, 1, 1, 0, 0)$

$\downarrow t_3$

$(0, 1, 0, 0, 1, 1)$

$\downarrow t_4$

$(1, 0, 0, 1, 0, 1)$

Рис. 2. Дерево достижимости

Значение позиции p_2 (фишка) есть число имеющихся в системе датчиков (в нашем случае количество датчиков равно 1). Переходы соответствуют следующим событиям: t_1 – отказ датчика; t_2 – обнаружение неисправного датчика; t_3 – замена датчика; t_4 окончание ремонта.

При наличии фишки в позиции p_2 переход t_1 срабатывает, но с задержкой (рис.2.) После выхода фишки из t_1 она попадает через p_1 в t_2 . Если фишка находится в позиции p_6 это означает, что обслуживающий систему ремонтник свободен и может приступить к поиску возникшей неисправности. В переходе t_2 фишка задерживается на время, равное значению длительности поиска неисправности. Далее фишка оказывается в p_3 (рис.3) и, если имеется запасной датчик (фишка в p_4), то запускается переход t_3 , из которого фишки войдут в p_2 , p_5 и p_6 через отрезок времени, требуемый для замены блока (рис.4). После этого в t_4 моделируется восстановление неисправного датчика (рис.5).

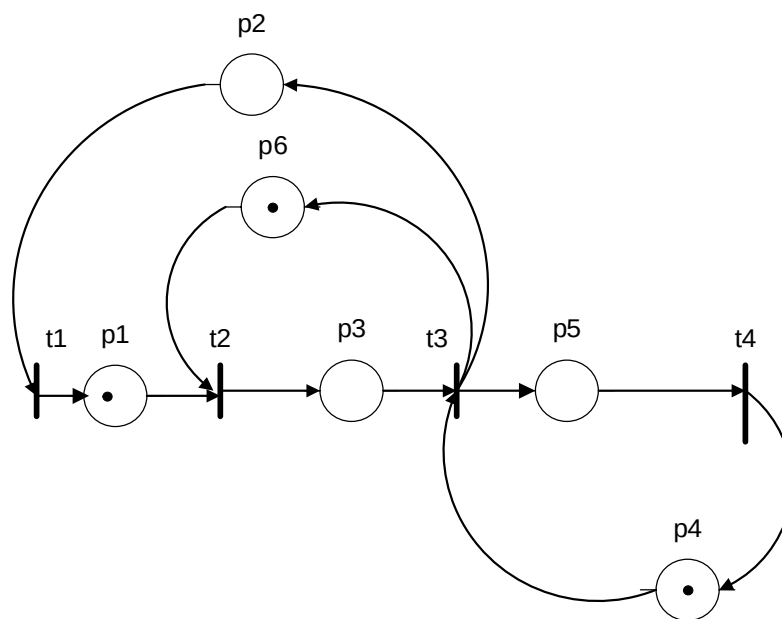


Рис. 2. Сеть моделирующая срабатывание перехода t_1

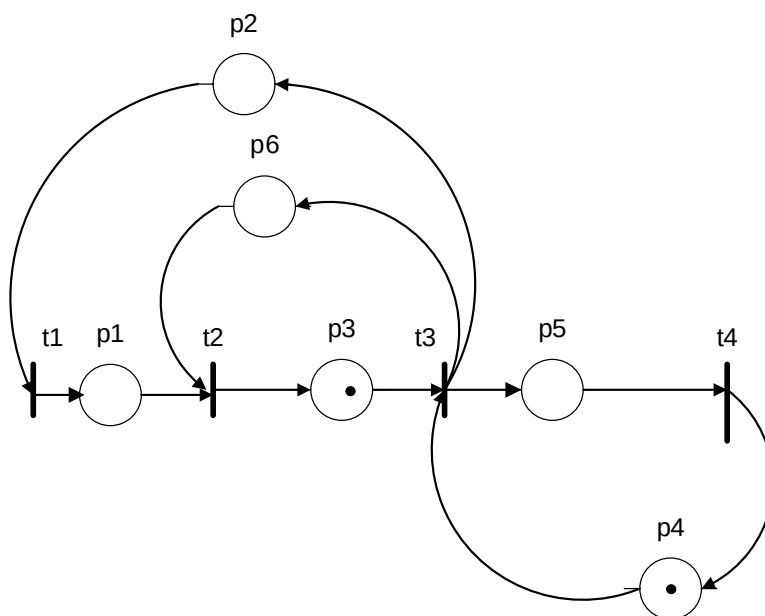


Рис. 3. Сеть моделирующая срабатывание перехода t_2

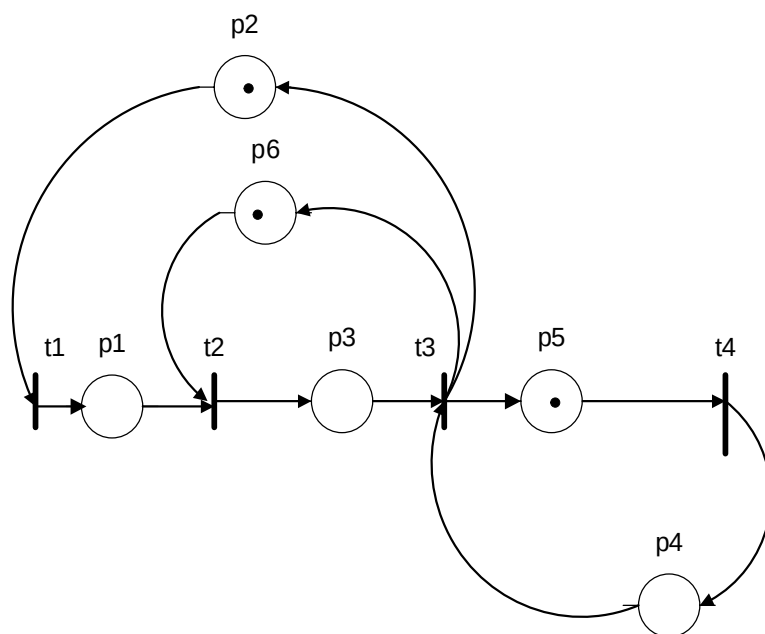


Рис. 4. Сеть моделирующая срабатывание перехода t_3

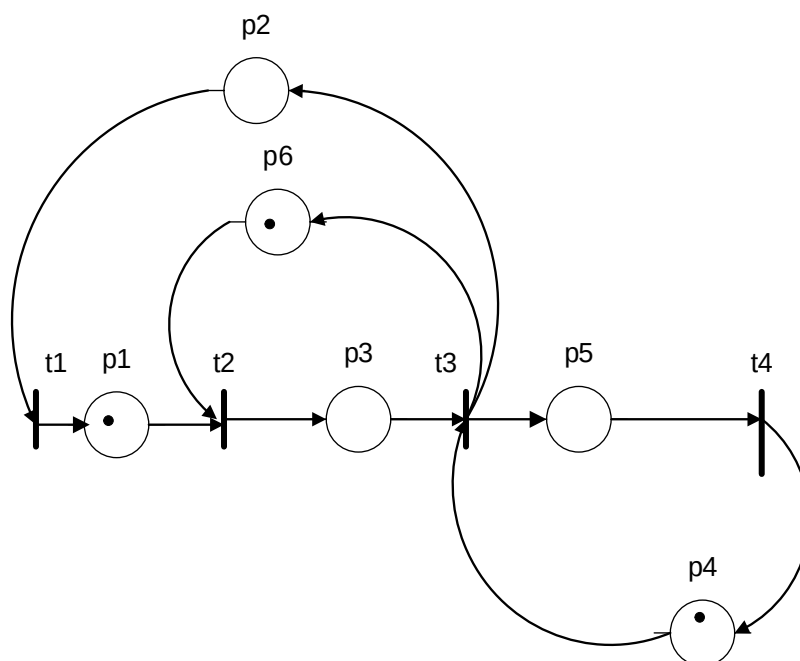


Рис. 5. Сеть моделирующая срабатывание перехода t_4

Данная модель описывает работу системы в условиях, когда отказы могут возникать и в неисправном состоянии системы и в рабочем. Поэтому возможны ситуации, при которых более чем одна фишка окажется в позиции p_1 , т.е. количество неисправных датчиков может быть больше 1.

Выводы

В данной работе предложен метод моделирования возникновения неисправности в АСПВБ СМИС ПОО и процесс устранения неисправности, основанный на использовании сетей Петри, благодаря этому процесс моделирование программного и аппаратного обеспечения будет являться эффективным и наглядным. На основе проведенного анализа выявлена достижимость сети.

Литература

1. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984.
2. Дж. Питерсон. Теория сетей Петри и моделирование систем. М. Мир, 1984.
3. И.В. Прангишвили, А.А. Амбарцумян. Научные основы построения АСУ ТП сложных энергетических систем. М.: Наука, 1992.
4. Топольский Н.Г. Фирсов А.В. Использование теоретического аппарата Сети Петри в создании автоматизированной интегрированной системы безопасности и жизнеобеспечения потенциально опасного объекта // Материалы XI Международного форума "Технологии безопасности" - 2006. М.: Экспоцентр "Крокус-Экспо".

5. Войнов К.М., Фирсов А.В. Автоматизированная система пожаровзрывобезопасности, как неотъемлемая часть автоматизированной интегрированной системы безопасности и жизнеобеспечения потенциально опасного объекта // Материалы X Международного форума "Технологии безопасности" - 2005. М.: Экспоцентр "Крокус-Экспо".

6. Топольский Н.Г., Гинзбург В.В., Блудчий Н.П. Интегрированные системы безопасности и жизнеобеспечения – от здания к городам и регионам. Материалы 11-й международной НТК СБ-2002. –М. Академия ГПС МЧС России, С.230.

7. Шахрамьян М.А., Качанов С.А., Топольский Н.Г. и др. Концепция создания структурированной системы мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. –М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2003.