

## Разработка программного обеспечения для моделирования систем управления с помощью сетей Петри

Иванов Е.Б., Павлов И.Ю., Колосков В.Л., НИУ Высшая школа экономики, МИЭМ  
ebivanov@edu.hse.ru, iyupavlov@edu.hse.ru, vlkoloskov@edu.hse.ru

### Аннотация

В данной статье описывается разработка программы предназначенной для моделирования поведения систем управления. За основной математический аппарат дискретно-событийного моделирования были взяты сети Петри. Программа позволяет хранить в базе данных готовые модели отдельных компонентов системы с целью дальнейшего использования для составления модели системы управления в целом. Данный подход позволяет работать с программой пользователю, который не разбирается в сетях Петри.

возможность достижения меткой заданного состояния, благодаря чему можно оценить работоспособность функционального блока или системы в целом. В программе используется парадигма иерархических сетей Петри.

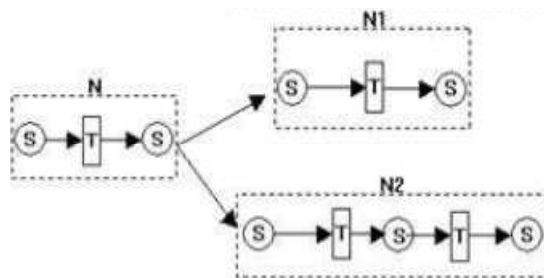


Рис. 1. Пример иерархической сети Петри

### 1 Введение

На сегодняшний день, современные системы управления это множество блоков связанных друг с другом, которые непрерывно обмениваются информацией. В большинстве случаев потеря информации или выход из строя компонента системы является критичным. Для решения данной проблемы многие инженеры гонятся за увеличением надежности системы управления, что приводит к избыточности компонентов, резервным каналам связи и т.д. Для адекватного решения данной проблемы необходимо моделирование, которое позволяет оценить вероятность безотказной работы, а так же влияние отказов различных узлов на работу системы в целом.

### 2 Процесс моделирования с помощью сетей Петри

В рассматриваемой программе в основе моделирования систем управления, лежит математический аппарат сетей Петри, который заключается в построении двудольного графа описывающего компоненты в системе управления. В графе присутствует два вида вершин: «переход» и «место». В любом «месте» может располагаться метка, которая способна перемещаться за счет «переходов», при условии выполнения требований «перехода». Математический аппарат сетей Петри позволяет выявить воз-

Переход к иерархическим сетям Петри заключается в том, что каждой позиции и каждому переходу может быть приписана сеть Петри, моделирующая процессы хранения и обработки данных, происходящие в соответствующем узле сети.[1] Пример иерархической сети Петри можно увидеть на рис. 1, где N – функциональный блок управления, S – место, а T -переход. Данный подход позволяет использовать полную базу данных, которая хранит готовые модели блоков системы управления, например такие как: кворум элемент, сумматор, вычислитель и др. Данное решение сводит моделирование системы управления к следующим шагам:

- Выбор нужного количества необходимых блоков КСУ из базы данных;
- Соединение блоков КСУ в соответствии с топологией вычислительной сети;
- Запуск автоматического моделирования отказов системы с целью выявления количественных характеристик вычислительной системы КСУ.

### 3 Разработка и интерфейс программы

Данная программа реализована на языке программирования C++ с помощью IDE QT. В главном окне располагается рабочее пространство, на котором пользователь может работать с готовыми моделями компонентов системы управления. Данное ра-

бочее пространство реализовано с помощью технологии «Drag and Drop», которая позволяет интерактивно взаимодействовать с блоками, перетаскивая и соединяя их в единую систему.[2] Пример моделирования и интерфейс программы можно увидеть на рис. 2. В данном примере производится моделирование системы управления самолетом, в которой показания четырехкратно резервированных датчиков параллельно поступают в четырехкратно резервированные вычислители, соединённые по схеме «все со всеми» с целью усреднения и парирования погрешностей датчиков.[3] По этой причине все вычислители передают сигналы в специальные блоки межмашинного обмена. Далее, данные поступают в блок следящих рулевых приводов.

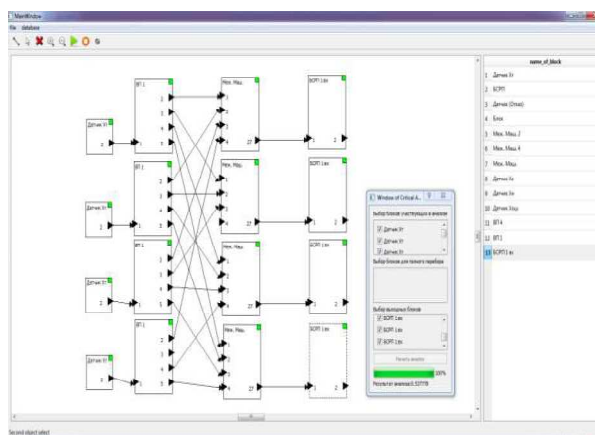


Рис. 2. Пример моделирования и интерфейс программы.

#### 4 Оценка надежности системы

Для оценки надежности топологии системы управления используется инженерный метод построения структурной схемы. Каждый блок обладает вероятностным параметром надежности, который хранится в базе данных. В зависимости от топологии системы, для получения надежности системы в целом, данные параметры при параллельном соединении складываются, а при последовательном умножаются. Однако, данный метод, работает только с тривиальными топологиями, в нашем же случае можно встретить такие топологии как «все со всеми» или «мостиковое соединение». Для решения данной проблемы был использован метод перебора работоспособных состояний, который позволяет привести сложную топологию к тривиальной структуре. Данный метод заключается в построении вероятностной таблицы, которая рас-

считывает вероятности всех возможных состояний не критичных для системы, что позволяет путем перемножения вероятностей в таблице, найти надежность сложной топологии. Пример данной таблицы можно увидеть на рис. 3.

Число отказавших элементов	Работоспособные состояния системы (последовательности элементов)	Вероятность работоспособного состояния системы
0	1, 2, 3, 4, 5	$P_1 P_2 P_3 P_4 P_5$
1	1, 2, 3, 4	$P_1 P_2 P_3 P_4 Q_5$
	1, 2, 3, 5	$P_1 P_2 P_3 P_5 Q_4$
	1, 2, 4, 5	$P_1 P_2 P_4 P_5 Q_3$
	1, 3, 4, 5	$P_1 P_3 P_4 P_5 Q_2$
	2, 3, 4, 5	$P_2 P_3 P_4 P_5 Q_1$

Рис. 3. Пример таблицы метода перебора работоспособных состояний

Главная сложность заключается, в составлении данной таблицы, так, как изначально нам не известно, какие отказы критичны, а какие нет. Не смотря на это, сети Петри, за счет свойства достижимости, дают ответ на данный вопрос, работает ли система при известных начальных условиях отказов. Данное свойство позволяет составить таблицу в автоматическом режиме путем перебора запросов для модели с учетом начальных условий отказов системы.

#### 5 Заключение

Рассмотренная программа позволяет оценить топологию системы управления и выявить ее недостатки на стадии разработки, что значительно облегчает сделать обоснованный выбор топологии системы управления.

#### Список литературы

- Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М: Мир, 1984. — 264 с.
- Макс Шлее, Qt 5.3. Профессиональное программирование на C++. — БХВ-Петербург, 2015. — 928 с.
- Иванов Е.Б., Кулабухов В.С. Моделирование компонентов вычислительной сети комплексной системы управления с помощью сетей Петри Материалы XII международной научно-практической конференции «Инфо 2015». / Научн. ред. А.Н. Тихонов; Общ. ред. С.У. Увайсов; Отв. ред. И.А. Иванов. — М.: НИУ ВШЭ, 2015, 672 с.