

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Иванов Е.Б., Колосков В.Л., Павлов И.Ю.
НИУ ВШЭ
8(916)1257494, Ivanov-geka@gmail.com

Статья посвящена методу расчета надежности безотказной работы и отказоустойчивости различных систем описанных с помощью сетей Петри. Данный метод позволяет автоматизировать расчет надежности сложных структурных схем и выявить критические отказы устройств. На базе данного метода было реализовано программное обеспечение, которое позволяет произвести анализ модели сети Петри по различным параметрам.

Ключевые слова: сети Петри, надежность, отказоустойчивость, метод ветвей и границ, имитационное моделирование.

Assessment Of The Reliability Parameters Of Structural Scheme By Using Petri Nets. Ivanov E.B., Koloskov V.L., Pavlov I.Y., HSE

The paper is devoted to the method of calculating the reliability uptime and fault tolerance of various systems described by using Petri nets. This method allows you to automate the calculation of reliability of complex structural schemes and identify critical failures of devices. This method became the basis for the software that allows you to make an analysis of Petri net model for various parameters of reliability.

Keywords: Petri nets, reliability, fault tolerance, branch and bound, simulation modeling.

Введение

В настоящее время для анализа надежности сложных структур, как правило, используют имитационное моделирование, которое позволяет с помощью метода Монте-Карло оценить вероятность безотказной работы в определенных границах погрешности. Однако такой асимптотический анализ имеет высокую погрешность, и для расчета надежности критических систем, для которых отказ может привести к катастрофической ситуации, не подходит. Более точным является метод прямого перебора всех ситуаций, который заключается в составлении булевой таблицы работоспособных состояний блоков системы, при которых система является работоспособной. Несмотря на точность метода, есть неоспоримый недостаток в трудозатратности перебора 2^n комбинаций. По этой причине данный метод не подходит для больших структурных схем. Также для автоматизации данного метода необходимо определять работоспособность системы при заданных отказах, что не всегда является простой задачей. Основной целью работы является выбор математического аппарата моделирования и уменьшение количества комбинаций для прямого перебора.

Сети Петри

Сети Петри являются математическим аппаратом событийного моделирования. Сетью Петри называется набор множеств $N=(P,T,I,O)$, где P – конечное множество мест, T – конечное множество переходов, $P \cap T = \emptyset$, I – множество входных дуг, O – множество выходных дуг. Иными словами сеть Петри это двудольный граф с двумя видами вершин: P – место, T – переход. Места имеют обозначение в виде круга, а переходы в виде черты. Из каждого типа вершины может идти дуга в другой тип вершины, однако дуги из одного вида вершин в такой же вид запрещены.

Сеть Петри называется маркированной, если существует функция $\mu(P)$ которая ставит в соответствие каждому элементу P неотрицательное число. Данное число обозначает количество меток (маркеров) в данной позиции, которые обозначаются черными точками.

Более наглядно работу сетей Петри можно увидеть на рисунке 1. На данном рисунке изображено 3 графа, которые показывают поэтапное перемещение метки. На первом графе метка находится в месте P_1 , а переход t_1 является активным. Начальная разметка данного графа $\{1,0,0,0\}$. После совершения перехода t_1 метка перемещается из места p_1 в место p_2 , что можно увидеть на втором графе. В данной ситуации в сети Петри два активных перехода t_2 и t_3 . В данном примере случайно сработал переход t_3 , который породил метки в позиции p_4 и p_5 .

В основе используемого программного обеспечения лежит теория сетей Петри с ингибиторными дугами. Данные дуги запрещают срабатывание активного перехода при наличии метки в месте связанном с активным переходом ингибиторной дугой. Ингибиторные дуги обозначаются пунктиром. Данная разновидность сетей позволяет моделировать различные булевы функции.

Так же используется свойство достижимости, которое позволяет ответить на вопрос, достигает ли начальная разметка заданную. Иными словами данное свойство позволяет ответить, возможно ли достижение заданной ситуации при заданных начальных условиях. Свойство достижимости широко используется во многих системах моделирования для определения работоспособности системы. Для анализа сетей Петри на достижимость существует метод построения графа достижимости, который описывает все достигаемые разметки из начальной разметки.

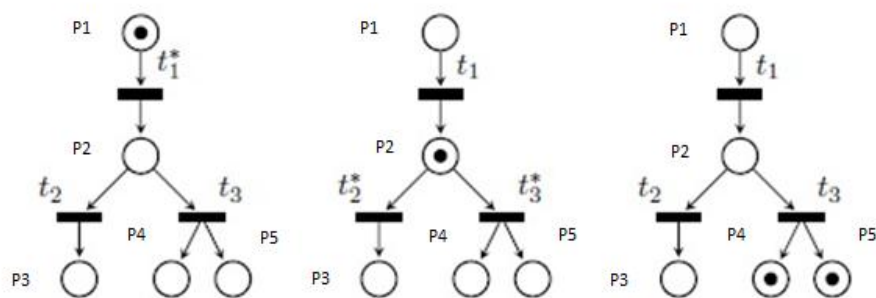


Рисунок 1 – Работа сети Петри

Расчет надежности методом прямого перебора

Создание модели системы производится в программном обеспечении, описанном в [1]. Для создания модели необходимо описать унифицированные блоки системы с помощью сетей Петри в специальном конструкторе программы, который позволяет построить сеть Петри и задать графические и информационные характеристики блока. После описание, данные модели записываются в специальную базу данных, которая хранит ранее описанные блоки. Используя данные блоки, пользователь может создать модель системы с заданной топологией. Пример создания модели блока и модели системы можно увидеть на рисунке 2. В примере описывается следящая система с тремя резервами, соединенными по схеме «все со всеми». Данная система имеет отказоустойчивость равную одному отказу.

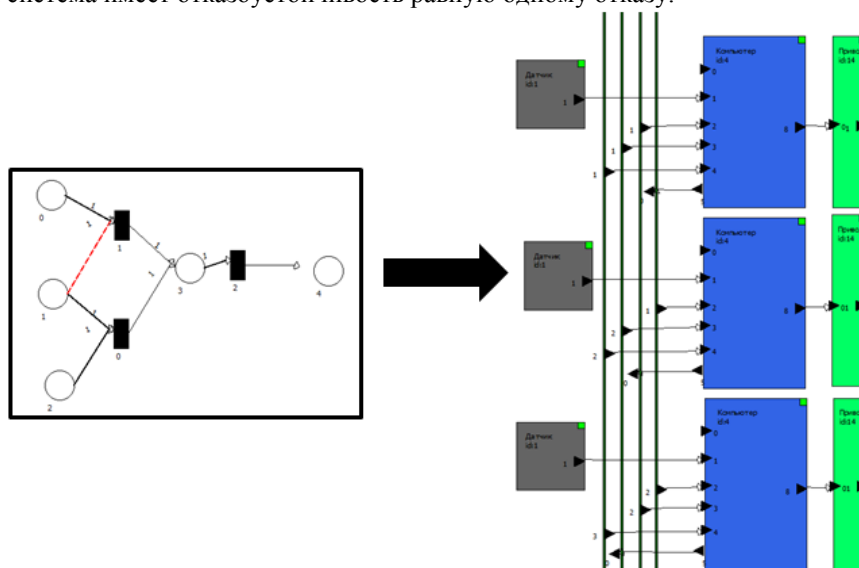


Рисунок 2 – Создание модели блока и модели системы

Для уменьшения комбинаций перебора пользователь должен разделить структурную схему на различные группы и присвоить данной группе идентификационный номер. Данный подход называется методом редукции, который заключается в группировке элементов в статистически независимые блоки. Такие блоки соединены друг с другом последовательно параллельными связями. Тем самым пользователь упрощается схему, для расчетов и программе остается только рассчитать сложные участки схемы, а затем сложить или перемножить показатели вероятности согласно теории последовательно параллельных структурных схем, которая описана в [2]. Однако зачастую разбить сложные схемы не всегда получается и приходится прибегать к методу прямого перебора. Для сокращения количества комбинаций предлагается использовать метод ветвей и границ, который в данном случае имеет следующий алгоритм:

- 1) Поиск однотипных блоков с целью выявления сечений системы.
- 2) Полный перебор каждого сечения системы по отдельности с использованием модели описанной сетью Петри. Свойство достижимости, позволяет ответить на вопрос, работает ли система при заданных начальных условиях. С помощью данного свойства мы можем выявить комбинации отказов сечения, при которых система остается работоспособной и отсеять критические комбинации.
- 3) Перебор оставшихся комбинаций всех сечений с целью составления списка комбинаций отказов блоков системы, при которых система остается работоспособной.

После выполнения данного алгоритма создается булева таблица состояний блоков системы, которая в дальнейшем используется для расчета вероятности всех ситуации $P_i(t)$ с целью выявления вероятности безотказной работы системы $P(t)$. Вероятности ситуаций рассчитываются путем перемножения p_i и q_i

вероятностей. Например, для комбинации {1,1,0,0} вероятность будет равна произведению $q_1 q_2 p_3 p_4$. Вероятность безотказной работы вычисляется по формуле (1).

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i(t) \quad (1)$$

Аналогично с помощью алгоритма ветвей и границ можно посчитать отказоустойчивость схемы, однако при данном анализе в алгоритме в пункте 3 будут выбираться не работоспособные комбинации, а напротив, комбинации которые приводят к катастрофической ситуации с целью поиска минимального количества отказов приводящие к отказу системы.

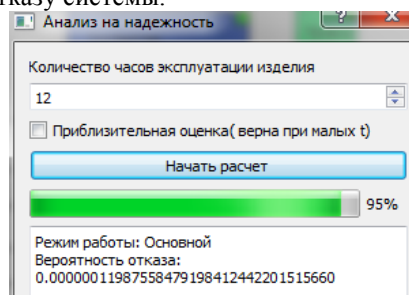


Рисунок 3 – Результат выполнения расчета надежности

Результаты расчета надежности схемы описанной ранее можно увидеть на рисунке 3. При анализе пользователю предлагается ввести количество часов эксплуатации и тип анализа: полный или оценочный.

Выводы

Описанный подход позволяет уменьшить количество комбинаций, а в следствие и время работы анализа на надежность и отказоустойчивости системы, что позволяет с высокой точностью и за короткое время оценить качество системы. Данный подход используется в программном обеспечении для моделирования комплексных систем управления летательными аппаратами, а так же может быть использован для любых сложных иерархических системах.

Литература

1. Иванов Е.Б. Разработка системы моделирования и оценки комплексной системы управления летательного аппарата с помощью сетей Петри. / Материалы межвузовская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов им. Е.В. Арменского.- 2016.- с.343-345
2. ГОСТ Р 51901.14-2007. Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы.