Список литературы

1. Ларкин Е.В., Котов В.В. Титов С.В. Аппроксимация взвешенной суммы плотностей распределения вероятностным законом // Известия Тульского государственного университета. Проблемы специального машиностроения. 2000. Вып. 3. Ч. 1. С. 389 - 393.

2. Ларкин Е.В., Ивутин А.Н., Костомаров Д.С. Методика формирования сети Петри-Маркова для моделирования когнитивных технологий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 1. С. 303 - 311.

Гришин Константин Анатольевич, асп., GrishKons92@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

APPROXIMATION OF PLANE COMPOSITION BY LAW OF DISTRIBUTION

K.A. Grishin

Approximation of numerical characteristics obtained as a result of simplifications of elementary Petri-Markov subnets by the method of direct calculation, gamma distribution with the same numerical characteristics is considered. A method for finding the minimum value of an error in the presence of constraints is proposed.

Key words: approximation, Petri-Markov subnet, gamma distribution, mathematical expectation, variance.

Grishin Konstantin Anatolyevich, postgraduate, GrishKons92@yandex.ru, Russia, Tula, Tula, Tula State University

УДК 519.217.2

ПЕТРИ-МАРКОВСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОВЫХ СТРУКТУР ИЗБЫТОЧНЫХ СИСТЕМ

К.А. Гришин

Рассматривается моделирование типовых структур избыточных систем с помощью сетей Петри-Маркова. Представлена Петри-Марковская модель взаимодействия элементов в избыточной отказоустойчивой структуре, а также вероятность выполнения логических условий в дизъюнктивной нормальной форме.

Ключевые слова: избыточная система, сеть Петри-Маркова, дизъюнктивная нормальная форма, плотность распределения.

Рассмотрим избыточную структуру при которой к одному источнику (информации, сигнала, электроэнергии и т.п.) и одной нагрузке подключаются K однотипных элементов:

$$G' = \{B', Z'\} \supset G, \qquad (1)$$

При начале эксплуатации системы все элементы вводятся в эксплуатацию одновременно. Отказавший элемент остается в структуре системы в том смысле, что физические связи отказавшего элемента с другими элементами, а также с источником и нагрузкой не нарушаются. При этом система рассчитывается таким образом, чтобы режим функционирования резервируемых элементов был близок к режиму без резервирования, а наличие резервируемых структур не приводило к нарушению работоспособности.

На рис. 1 применены следующие обозначения: β - источник (энергии, сигнала), обеспечивающий воздействие на резервируемый элемент; α - резервируемый элемент; $\{\alpha_1, ..., \alpha_k, ..., \alpha_K\}$- множество элементов, резервирующих элемент α; ε - нагрузка на элемент α. Стрелками на ориентированных графах указаны: (β, α) - связь, обеспечивающая воздействие на элемент α со стороны источника β; (ε, α)- связь, обеспечивающая воздействие на элемент α со стороны нагрузки ε; $\{(\beta, \alpha_1), ..., (\beta, \alpha_k), ..., (\beta, \alpha_K)\}$- множество связей, обеспечивающих воздействие на элементы $\{\alpha_1, ..., \alpha_k, ..., \alpha_K\}$ со стороны источника β; $\{(\varepsilon, \alpha_1), ..., (\varepsilon, \alpha_k), ..., (\varepsilon, \alpha_K)\}$- множество связей, обеспечивающих воздействие на дублирующие элементы со стороны нагрузки.

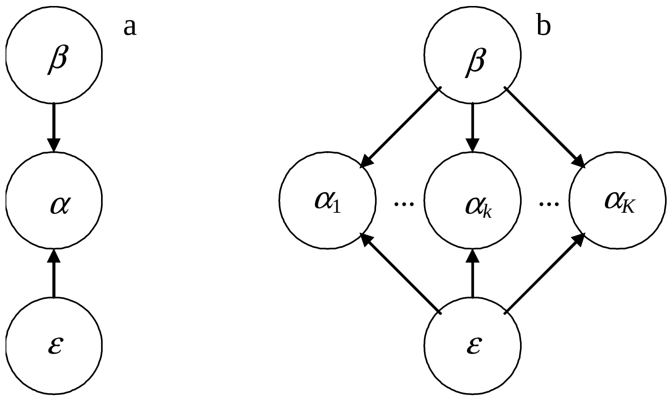

Рис. 1. Исходная система без резервирования (а) и с резервированием (б)

Вследствие того, что воздействие на элементы $\{\alpha_1, ..., \alpha_n, ..., \alpha_N\}$ начинает осуществляться одновременно, Петри-Марковская модель будет иметь вид, приведенный на рис. 2.

Структура сети Петри-Маркова, изображенной на рис. 2, имеет вид:

$$\tilde{\Pi} = \left\{ \{c_1, ..., c_k, ..., c_K\}, \{z_1, z_2\}, \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ ... & ... \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & ... & 1 \\ 0 & ... & 0 \end{pmatrix} \right\}, \qquad (2)$$

где c_k - подсеть Π^k, упрощенная до единственной позиции, моделирующая деградационно-восстановительный процесс в k-м элементе, $1 \le k \le K$; z_1 -

переход, моделирующий начало эксплуатации системы; z_2 - переход, моделирующий смену состояний системы после отказа одного из элементов.

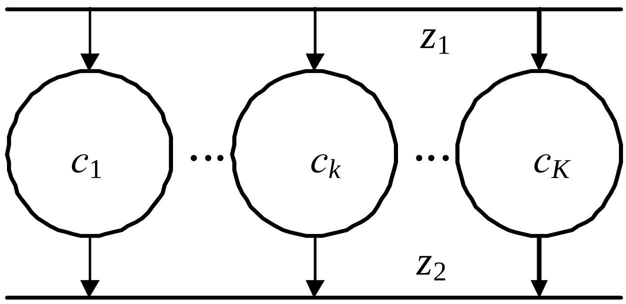

Рис. 2. Петри-Марковская модель взаимодействия элементов в избыточной отказоустойчивой структуре

Плотность распределения времени задержки переключения из перехода z_1 в переход z_2 через позицию c_k определяется зависимостью:

$$f_k(t) = \frac{h_k(t)}{p_k}. \tag{3}$$

Обозначим факт переключения из позиции c_k в переход z_2 булевой переменной $\sigma_k = (c_k, z_2)$. Будем считать, что условие работоспособности системы в результате отказов групп элементов представлено в дизъюнктивной нормальной форме:

$$\Lambda = \bigvee_{n=1}^{N} \left(\bigwedge_{k}^{K} \Lambda_n(\sigma_k) \right), \tag{3}$$

где $\bigvee_{n=1}^{N}$ - групповая дизъюнкция; $\bigwedge_{k}^{K}$ - групповая конъюнкция; $\Lambda_n(\sigma_k)$ - логическая функция n-й элементарной конъюнкции от k-й булевой переменной; $N = 2^K$;

$$\Lambda_n(\sigma_k) = \begin{cases} \sigma_k, \text{ если полушаг } (c_k, z_2) \text{ должен быть сделан;} \\ \bar{\sigma}_k, \text{ если полушаг } (a_k, z_2) \text{ не должен быть сделан;} \end{cases} \tag{4}$$

где $\bar{\sigma}_k$ - логическая операция отрицания.

Вследствие того, что выполнение полушагов из позиции c_k в переход $z_{j(zn)}$ производится в течение случайного времени, определяемого плотностью $\hat{f}_k(t)$, вероятность выполнения и невыполнения полушага σ_k в течение времени t определяются по зависимостям:

$$P(\sigma_k \mid \tau < t) = F_k(t) = \int_0^t f_k(\tau) d\tau; \tag{5}$$

$$P(\sigma_k \mid \tau > t) = 1 - F_k(t), \tag{6}$$

где $F_k(t)$ - функция распределения, соответствующая плотности $f_k(t)$.

Вследствие того, что все события выполнения полушагов из позиций $c_1, ..., c_k, ..., c_K$ являются независимыми, вероятности того, что будет выполнено условие n-й элементарной конъюнкции, определяется зависимостью:

$$P_n(t) = \prod_{k=1}^{K} \vartheta_n[f_k(t)], \tag{7}$$

$$\vartheta_n[f_k(t)] = \begin{cases} F_k(t), \text{ если } \Lambda_n(\sigma_k) = \sigma_k; \\ [1 - F_k(t)], \text{ если } \Lambda_n(\sigma_k) = \overline{\sigma}_k. \end{cases} \tag{8}$$

Вследствие того, что все возможные комбинации выполнения и невыполнения шагов σ_n являются несовместными событиями, вероятности различных комбинаций независимы, и в общем случае вероятность выполнения логических условий, представленных в дизъюнктивной нормальной форме (3), определяется выражением:

$$P(t) = \sum_{n}^{N} \prod_{k=1}^{K} \vartheta_n[f_k(t)]. \tag{9}$$

Таким образом, (9) представляет собой изменение вероятности перехода системы, изображенной на рис. 2, в неработоспособное состояние.

Список литературы

1. Котов В.В., Котова Н.А., Ларкин Е.В. Метод имитационного моделирования систем с использованием сетей Петри-Маркова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2015. Вып. 9. С. 164 - 170.

2. Ларкин Е.В., Ивутин А.Н., Костомаров Д.С. Методика формирования сети Петри-Маркова для моделирования когнитивных технологий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2013. Вып. 9. Ч. 1. С. 303 - 311.

Гришин Константин Анатольевич, асп., GrishKons92@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет

PETRI-MARKOV MODELING OF TYPICAL STRUCTURES OF EXCESS SYSTEMS

K.A. Grishin

Modeling of typical structures of redundant systems using Petri-Markov nets is considered. A Petri-Markov model of the interaction of elements in an excessive fault-tolerant structure is presented. The probability of the fulfillment of logical conditions in a disjunctive normal form is presented.

Key words: redundant system, Petri-Markov net, disjunctive normal form, distribution density.

Grishin Konstantin Anatolyevich, postgraduate, GrishKons92@yandex.ru, Russia, Tula, Tula, Tula State University

УДК 519.8

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РОЯ ЧАСТИЦ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В БОРТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ ПО КРИТЕРИЮ РАВНОМЕРНОЙ ЗАГРУЗКИ

О.В. Есиков, С.М. Цыбин, А.И. Чернышков

Формализованы задачи оптимизации распределения программных модулей в системе вычислительных средств бортовых информационных и управляющих систем по критерию равномерной загрузки. Предложена реализация метода роя частиц для решения разработанных математических моделей. Выполнена экспериментальная оценка эффективности применения метода роя частиц для формализованных задач.

Ключевые слова: бортовые информационные и управляющие системы, информационно-вычислительный процесс, дискретная оптимизация.

Современные бортовые информационные и управляющие системы (БИУС) представляют собой сложные программно-аппаратные комплексы, построенные на единой технологической базе и предназначенные для решения широкого круга задач [1]. При этом они строятся по модульному принципу, где каждый модуль представляет собой вычислительное средство, имеющее средства сопряжения в единую БИУС.

Каждый вычислительный модуль может быть задействован как для решения фиксированного узкого круга задач, так и совокупности задач формируемой динамически в зависимости от текущей ситуации.

В первом случае каждый вычислительный модуль решает свои функциональные задачи, а информационный обмен основан на обмене данными. Данный вариант обеспечивает наибольшую простоту построения вычислительного процесса. Во втором случае перечень решаемых каждым вычислительным модулем задач может с течением времени изменяться. Данный вариант обеспечивает более гибкое управление вычислительным процессом и повышает живучесть БИУС в экстремальных условиях функционирования. Однако данный вариант требует затраты вычислительных ресурсов на решение дополнительных задач планирования построения