УДК 629 7.017.1

Кучеров А.С.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

При создании летательных аппаратов (ЛА) важной является проблема оценки их надежности. В состав ЛА, как правило, входят системы со сложной сетевой структурой, расчет надежности которых требует применения логико-вероятностных методов или методов теории графов.

В первом случае на основе анализа структуры системы записывается функция алгебры логики (ФАЛ), связывающая состояния элементов (работоспособное или неработоспособное) с состоянием системы. Надежность системы определяется как вероятность истинности ФАЛ [1].

Методы теории графов, применяемые для решения задачи, можно условно разделить на две группы. К первой из них относятся методы, позволяющие произвести непосредственный расчет надежности системы – например, «топологический алгоритм» [2]. При использовании методов второй группы расчету надежности предшествует получение ФАЛ, характеризующей связность двух узлов графа, моделирующего рассматриваемую систему.

Хотя методы второй группы, как правило, требуют для решения задачи большего времени (обстоятельство, отметим, не играющее принципиальной роли при современном уровне развития вычислительной техники), но они обладают большей гибкостью. Это связано с возможностью использовать при получении ФАЛ дополнительные условия – например, предъявить требование заданной пропускной способности путей графа, обеспечивающих работоспособность системы [3].

Для расчета надежности системы как вероятности истинности ФАЛ, ее необходимо преобразовать к так называемой форме перехода к замещению (ФПЗ). Последняя представляет собой ФАЛ, допускающую непосредственный расчет вероятности заменой логических переменных вероятностями их истинности, а логических операций – соответствующими арифметическими операциями. Одним из вариантов ФПЗ является совершенная дизъюнктивная нормальная форма (СДНФ), на получении которой и основан рассматриваемый здесь алгоритм оценки надежности.

Пусть работоспособность системы описывается функцией логических переменных x_i $(i=1,...,n)$, α_i - двоичная переменная и

$$x_i^{\alpha_i} = \begin{cases} x_i, \text{если} \alpha_i = 1, \\ \overline{x_i}, \text{если} \alpha_i = 0, \end{cases}$$

где черта над логической переменной обозначает ее отрицание.

Разложением по всем переменным эта ФАЛ преобразуется в СДНФ [1]:

$$F(x_1,...,x_n) = \bigvee_1 x_1^{\alpha_1} x_2^{\alpha_2} ... x_n^{\alpha_n}, \qquad (1)$$

где дизъюнкция берется только по тем наборам $<\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n>$, на которых выполняется равенство

$$F(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_n) = 1. \qquad (2)$$

Множество всех наборов $<\alpha_i>$ $(i=1,...,n)$ можно представить в виде матрицы размерности $2^n \times n$, элементы которой равны либо 1, либо 0. При этом в первом столбце матрицы значения чередуются через строку, во втором – через две строки, в j-ом – через 2^{j-1} строк. Наборы, удовлетворяющие условию (2), отбираются подстановкой в ФАЛ.

Поскольку СДНФ ФАЛ является формой перехода к замещению, выражение для расчета надежности системы получается непосредственно из нее по следующему правилу: все логические переменные заменяются показателями надежности соответствующих элементов, отрицания переменных – вероятностями отказов элементов, операции конъюнкции и дизъюнкции - соответственно умножением и сложением.

Таким образом, алгоритм расчета надежности системы имеет следующий вид.

1.Переменной i присваивается значение 1.

2.Генерируется i-я строка матрицы A=$\|\alpha_{ij}\|$ размерности $2^n \times n$ по правилу:

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1, \text{если } Ent(j/2^i) \le 0{,}5; \\ 0, \text{если } Ent(j/2^i) > 0{,}5, \end{cases}$$

где $Ent(y)$-целая часть числа y.

3.Вычисляется значение $F(\alpha_{i1}, ..., \alpha_{in})$.

4.Вычисляется приращение надежности системы ΔR_i:

$$\Delta R_i = \begin{cases} 0, \text{если } F(\alpha_{i1}, ..., \alpha_{in}) = 0; \\ \prod_{j=1}^{j=n} \rho_j, \text{если } F(\alpha_{i1}, ..., \alpha_{in}) = 1, \end{cases}$$

где

$$\rho_i=\begin{cases} r_i, \text{если } \alpha_i=1,\\ 1-r_i, \text{если } \alpha_i=0,\end{cases}$$

r_i –показатели надежности соответствующих элементов.

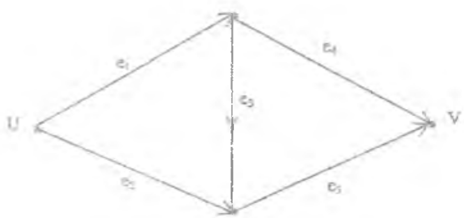
5.Если $i<n$, то значение i увеличивается на 1 и осуществляется возврат к пункту 2, иначе – переход к пункту 6.

6.Вычисляется надежность системы:

$$R=\sum_{i=1}^{i=2^{n}}\Delta R_i.$$

На основе описанного алгоритма составлена программа для персонального компьютера на языке FORTRAN.

В качестве примера, определим надежность системы из пяти элементов, которая моделируется ориентированным графом, изображенным на рисунке. Элементам системы поставлены в соответствие дуги графа e_i, показатель надежности каждого элемента равен 0,9. Работоспособному состоянию системы соответствует связность узлов графа U и V.



В результате решения задачи получено следующее выражения для ФАЛ, соответствующей работоспособному состоянию системы, в СДНФ:

$$F=x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4\bar{x}_5\vee x_1x_2\bar{x}_3x_4\bar{x}_5\vee x_1\bar{x}_2x_3x_4\bar{x}_5\vee x_1x_2x_3x_4\bar{x}_5\vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4x_5\vee$$
$$\vee x_1x_2\bar{x}_3\bar{x}_4x_5\vee x_1\bar{x}_2x_3\bar{x}_4x_5\vee \bar{x}_1x_2x_3\bar{x}_4x_5\vee x_1x_2x_3\bar{x}_4x_5\vee x_1\bar{x}_2\bar{x}_3x_4x_5\vee$$
$$\vee \bar{x}_1x_2\bar{x}_3x_4x_5\vee x_1x_2\bar{x}_3x_4x_5\vee x_1\bar{x}_2x_3x_4x_5\vee \bar{x}_1x_2x_3x_4x_5\vee x_1x_2x_3x_4x_5.$$

Искомая надежность системы составляет 0,9713.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем.- М.: Радио и связь, 1981.

2. A. Satyanarayana, A.Prabhakar. New topological formula and rapid algorithm for reliability analysis of complex networks.// IEE Trans. Reliability, vol.27. 1978. – P. 82-110.

3. K.K Aggarwal, Y.C.Chopra, J.S.Bajwa. Capacity consideration in reliability analysis of communication systems// IEE Trans. Reliability, vol. R-31, 1982. – P 177-180.

УДК 629.7.017.1

Лукашев Л.Г., Каргин В.Т., Zhou Jinsong, Yang Dezhuang.

О КРИТЕРИЯХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ КРАТЕРОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ МЕТЕОРНО-ТЕХНОГЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Увеличение скорости полета летательных аппаратов до космических поставило новую проблему обеспечения живучести при возможном высокоскоростном соударении с ними частиц и тел естественного или искусственного происхождения. К частицам и телам естественного происхождения могут относиться пылевые, дождевые или градовые облака, камни, частицы метеорного вещества. Если для первого поколения космических аппаратов (КА), стартующих вертикально и часто под обтекателем ракеты-носителя, пылевые, дождевые или градовые облака, а также камни большой опасности не представляли, то для воздушно-космических самолетов, которые проектируются в настоящее время, а «Спейс Шаттл» и эксплуатируется, эти частицы и тела естественного происхождения представляют опасность.

Одной из важнейших проблем является безопасность космических полетов с учетом факторов внешней среды. К одному из этих факторов можно отнести возможное воздействие на элементы конструкций КА и их системы высокоскоростных механических частиц естественного и искусственного происхождения (частицы метеорного вещества и частицы космического мусора - space debris). Эти частицы при высоких скоростях соударения могут вызвать