

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ СО МНОГИМИ СОСТОЯНИЯМИ ЭЛЕМЕНТОВ

В. С. Горшунов

Бурное развитие техники приводит к её постоянному усложнению. А задача определения отказоустойчивости различной аппаратуры уже давно не является тривиальной.

По заказу и под руководством института механики и надежности машин Национальной академии наук Беларуси был разработан программный комплекс выполняющий расчет надежности разнообразных сложных систем применяя аналитический способ.

Цель данной работы: реализация программного комплекса, позволяющего выполнять исследования надежности сложных систем с многими состояниями элементов, используя аналитический метод.

Для достижения данной цели был выработан следующий комплекс связанных между собою задач:

- Определить вероятность нахождения системы в одном из k подмножеств состояний.
- Для расчета вероятности нахождения системы в одном из k подмножеств состояний построить структурные функции, отображающие условие нахождения системы в определенном состоянии в зависимости от состояний ее элементов.
- Для построения структурных функций в качестве модели системы выбран орграф $G(V, E)$, в котором множеству вершин V соответствуют точки физического сочленения или элементы реальной системы, состояния которых определяются с помощью логических высказываний (логических операторов), а множество ребер E – линиями связи между ними.

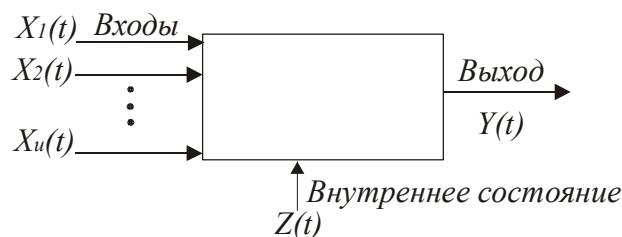


Рис. Модель элемента сложной системы:

$X_i(t)$ – i -ая входная структурная функция,
 $Y(t)$ – выходная структурная функция,
 $Z(t)$ – функция внутреннего состояния,
 t – номер вероятностного состояния.

Определение: Структурно-сложными или просто сложными называют многофункциональные системы, включающие в себя преобразующие датчики, информационно-вычислительные комплексы, системы управления и контроля, различные исполнительные механизмы, соединения между которыми образуют сложные структуры [1].

Структурно-сложная система представляется в виде оргграфа, где ребра задают надежность зависимости элементов, а вершины характеризуются списком базисных операторов, внутренним состоянием и множеством входных и выходных ребер. Структура элемента рассматриваемых систем приведена на рисунке.

Определение: Под элементарными событиями для элемента понимаются события $y_v^{(l)}, x_v^{(l)}, z_v^{(l)}$ заключающиеся в том, что соответствующие им переменные $y_v^{(l)}, x_v^{(l)}, z_v^{(l)}$ принимают значения $\gamma_l, l = \overline{1, k}$. Тогда совокупность соответствующих элементарных событий образует полную группу несовместных событий. Если вероятность каждого события $P\{y_v = \gamma_l\}, P\{x_v = \gamma_l\}, P\{z_v = \gamma_l\}$ обозначить через $p_{y_v}^{(l)}, p_{x_v}^{(l)}, p_{z_v}^{(l)}$ соответственно, то

$$\sum_{l=1}^k p_{y_v}^{(l)} = 1; \sum_{l=1}^k p_{x_v}^{(l)} = 1; \sum_{l=1}^k p_{z_v}^{(l)} = 1.$$

Определение: Базисный оператор это - логическое высказывание, которое однозначно определяет одно конкретное выходное состояние элемента сложной системы, в зависимости от внутренних и входных состояний [1].

В зависимости от функционального предназначения элемента, его входных и внутренних состояний, а также от числа входов элемента, базисные операторы делятся на следующие типы:

- оператор внутреннего состояния;
- оператор входных и внутренних состояний;
- оператор максимума;
- оператор минимума;
- оператор исключения по входным состояниям;
- оператор совпадения;
- оператор различных входов;
- логический оператор голосования по большинству.

Вероятностные состояния выходных ребер вершин характеризуются структурными функциями.

Определение: Структурной называется функция полученная из базисных операторов выраженных через элементарные события их возможных вероятностных состояний [1].

Для того чтобы получить структурную функцию системы, необходимо рекуррентно подставить друг в друга соответствующие базисные операторы от выходного элемента к входному. В данной работе ограничиваемся четырьмя состояниями элементов, из которых одно состояние исправности и три состояния отказов разного типа.

Приведем алгоритм работы вычислительного ядра:

- осуществляется проход по орграфу и поиск вершин в которые нет входящих ребер или значения входящих в вершину ребер уже построены;
- для выбранной вершины осуществляется процесс построения структурных функций по заранее заданным для каждой вершины базисным операторам;
- в общем случае для вершины строится четыре структурных функции, по одной для каждого возможного выходного состояния.
- каждая функция проходит процесс ортогонализации и расчета численных значений вероятностей отказоустойчивости.

Рассмотрим подробнее процессы построения структурных функций и их ортогонализации.

Процесс построения структурных функций:

- выбираем одну из базисных функций текущей вершины;
- базисную функцию выражаем через элементарные события. Получаем строковое представление функции и в него подставляем элементарные события входных и внутренних состояний;
- раскрываем скобки, параллельно выполняя операции логического поглощения, сокращения и исключения;
- полученную функцию объединяем логическим сложением с уже построенной, если такая имеется, структурной функцией состояния заданного выходным состоянием базисной функции. Для измененной выходной функции текущей вершины выполняем операции логического поглощения, сокращения и исключения;
- в итоге мы получаем выходные функции вершины которые зависят только от внутренних состояний вершин.

Процесс ортогонализации структурных функций:

- для каждого логического слагаемого выходной функции строится отрицание;

- ортогонализированная функция представляется последовательной суммой произведений отрицаний на предыдущие слагаемые;
- далее выполняются операции раскрытия скобок с параллельным выполнением операций логического поглощения, сокращения и исключения;
- в построенную ортогонализированную функцию осуществляется подстановка численных значений вероятностей внутренних состояний и вычисление численного значения вероятности выходного состояния вершины.

В процессе разработки были выполнены расчеты структурных и ортогональных функций различных моделей. В качестве примера приведем некоторые из них в таблице.

Итоги проведенной работы:

- Разработан и внедрен программный комплекс позволяющий вычислять надежность сложной системы;
- Получены результаты расчета надежности сложных систем;
- Отмечена перспективность работ в данной области;
- Выявлены практические проблемы связанные с данными вычислениями.

В процессе разработки и в последующий период эксплуатации были выделены критические параметры структурно-сложных систем, к которым относятся:

- Количество вершин в орграфе;
- Количество и тип базисных операторов каждой вершины орграфа;
- Структура связей орграфа.

Таблица

Результаты расчетов

Тип рассчитываемых функций	Время расчета вероятностей, мин	Пиковое использование памяти, Мбайт	Размер выходного файла, Кбайт
Простая модель, ортогональные	1/60	менее 1	4
Контрольная модель, ортогональные	1/30	4	10,3
Автопилот самолета «АН», структурные	270	300	1536
Автопилот самолета «АН», ортогональные	390	550	1636

Литература

1. Велигурский Г. А. Аппаратурно-программные методы анализа надежности структурно-сложных систем / Мн.: Наука и техника. 1986. 256с.