

В. И. ИВАНОВ, Г. Ф. КРИВУЛЯ, канд. техн. наук, Г. П. ФАСТОВЕЦ

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА ДЕФЕКТА В УСЛОВИЯХ ВОЗМОЖНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕРОК

При диагностировании сложных систем (биологических, технических) не всегда удается дать детерминированное описание поведения объекта диагностирования (ОД) в исправном и неисправных состояниях. Это объясняется, с одной стороны, тем, что в больших системах начинают действовать вероятностные законы, а с другой — неадекватностью моделирования таких систем.

Поведение детерминированных ОД принято описывать таблицами функций неисправностей, задающих результаты проверок π_i в зависимости от состояний e_j ОД [1]. Если значение проверки π_i не определено, то имеет смысл говорить о вероятности того или иного результата для проверки π_i , если ОД находится в состоянии e_j . Таким образом, поведение сложного ОД удобно описывать таблицей вероятностей проявления неисправностей (ТВПН), задающей вероятности $p_{i, k, j}$ всех возможных результатов α_k для каждой из проверок π_i в зависимости от состояний e_j ОД.

Так, например, для цифровых ОД множество M всех возможных результатов проверок удобно представить следующим образом [2]:

$$M = \{\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4\},$$

где α_1 — результат проверки совпадает с эталонным; α_2 — результат проверки не совпадает с эталонным и равен константе нуля; α_3 — результат проверки не совпадает с эталонным и равен константе единицы; α_4 — результат проверки не совпадает с эталонным и состоит из последовательности единиц и нулей.

В таблице приведена ТВПН для ОД, имеющего одиннадцать состояний (e_1 — исправное, e_2, \dots, e_{11} — неисправные состояния, каждому из которых соответствует определенный дефект). Так, если ОД будет находиться в состоянии e_5 , проверка π_1 будет иметь результат α_1 , проверка π_2 с вероятностью 0,5 будет иметь результат α_1 или α_2 , проверки π_3 и π_4 будут иметь результат α_2 .

Кроме ТВПН, для каждого ОД задаются времена t_i выполнения проверок π_i и условные вероятности q_j нахождения ОД в каждом из возможных состояний e_j .

Для ОД большой размерности целесообразно использовать квазиоптимальные условные алгоритмы поиска дефекта со средним временем поиска, близким к минимальному; к таким относятся оптимизированные алгоритмы поиска дефекта [3]. Каждую проверку π_i , включаемую в алгоритм, будем выбирать в соответствии с функцией предпочтения [4]

$$F(\pi_i) = \frac{I(\pi_i)}{t_i} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $I(\pi_i)$ — количество информации, доставляемое проверкой π_i .

Введем следующие обозначения:

S — информационный вектор состояний (ИВС) размерность которого равна числу возможных состояний ОД, его компоненты S_j формируются по следующему правилу:

$$S_j = \begin{cases} 0, & \text{если известно, что ОД не находится в состоянии } e_j; \\ 1, & \text{если ОД может находиться в состоянии } e_j; \end{cases}$$

$r_{i,k,j}$ — вектор проверки π_i для результата α_k , его размерность совпадает с размерностью вектора S , а компоненты $r_{i,k,j}$ равны:

$$r_{i,k,j} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{i,k,j} \neq 0; \\ 0, & \text{если } p_{i,k,j} = 0. \end{cases}$$

Количество информации, доставляемое проверкой π_i , определяется формулой

$$I(\pi_i) = H(S) - \sum_{\alpha_k \in M} P(\pi_i^{\alpha_k}) H(S | \pi_i^{\alpha_k}), \quad (2)$$

где $H(S)$ — априорная энтропия исходного состояния ОД; $P(\pi_i^{\alpha_k})$ — вероятность результата α_k для проверки π_i ; $H(S | \pi_i^{\alpha_k})$ — условная

P		e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}
π_1	α_1	1	0	0	1	1	0	0	0	0,5	0,5	0
	α_2	0	0,5	1	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0
	α_3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	α_3	0	0,5	0	0	0	1	0	1	0	0	0
π_2	α_1	1	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0
	α_2	0	0	1	0	0,5	0	1	0	1	1	0
	α_3	0	1	0	0,5	0	0	0	1	0	0	1
	α_4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
π_3	α_1	1	1	1	0	0	0,5	0,5	0	0	0	0
	α_2	0	0	0	0,5	1	0,5	0,5	0	0	0	0
	α_3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
	α_4	0	0	0	0,5	0	0	0	0	1	0	1
π_4	α_1	1	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0
	α_2	0	0	0,5	0	1	1	1	0	0	1	0
	α_3	0	0,5	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	α_4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

постериорная энтропия при условии, что проверка π_i имеет результат α_k ; M — множество возможных результатов проверки π_i .

В свою очередь

$$H(S) = - \sum_{j=1}^n \frac{s_j q_j}{\sum_{m=1}^n s_m q_m} \log_2 \frac{s_j q_j}{\sum_{m=1}^n s_m q_m},$$

$$P(\pi_i^{\alpha_k}) = \frac{\sum_{j=1}^n s_j q_j p_{i,k,j}}{\sum_{j=1}^n s_j q_j}, \quad (3)$$

где n — число состояний ОД.

По теореме Шеннона

$$H(s | \pi_i^{\alpha_k}) = - \sum_{j=1}^n \frac{s_{j^r i,k,j} q_j}{\sum_{m=1}^n s_{m^r i,k,m} q_m} \log_2 \frac{s_{j^r i,k,j} q_j}{\sum_{m=1}^n s_{m^r i,k,m} q_m}. \quad (4)$$

Здесь $\frac{s_{j^r i,k,j} q_j}{\sum_{m=1}^n s_{m^r i,k,m} q_m}$ — условная вероятность того, что после проведения проверки π_i , которая имеет результат α_k , ОД находится в состоянии e_j .

Очередной ИВС S' для результата α_k выбранной проверки π_i определяется по формуле

$$s_j' = s_{j^r i,k,j}, \quad (5)$$

где s_j' — j -я компонента очередного ИВС S' .

Алгоритмы поиска дефекта удобно представлять в виде древовидных графов. В вершинах дерева проставляются ИВС. Ветви дерева соответствуют выбранным проверкам и их результатам. Корневая вершина содержит ИВС, состоящий только из единичных компонент (подозреваются все состояния). В концевых вершинах содержатся ИВС, единичные компоненты которых соответствуют локализованным состояниям.

Алгоритм построения дерева поиска дефекта имеет следующий вид.

1. В корневую вершину помещаем ИВС S , состоящий из единичных компонент.

2. Для очередной вершины с ИВС S производим выбор проверки. С этой целью для всех неиспользованных выше проверок π_i определяем значение функции предпочтения $F(\pi_i)$ и выбираем проверку, для которой оно максимально.

3. Заносим выбранную проверку в дерево поиска дефекта.

4. Находим для каждого результата α_k выбранной проверки π_i очередные ИВС S' .

5. Если для какого-либо результата α_k выбранной проверки π_i получен вектор S' , состоящий только из нулевых компонент, то результат α_k невозможен. В дерево поиска дефекта заносятся векторы S' для всех существующих результатов (векторы S' , имеющие хоть одну единичную компоненту).

6. Очередные ИВС S' , помещенные в дерево, далее именуется просто ИВС S .

7. Выбираем любую концевую вершину с ИВС S , содержащим более одной единичной компоненты, и переходим к п. 2.

8. Если все концевые вершины содержат ИВС с одной единичной компонентой или использованы все проверки, построение дерева поиска дефекта окончено.

На рисунке изображено дерево поиска дефекта, построенное для ОД, заданного ТВПД, приведенной выше, с временами выполнения проверок $t_1=1$; $t_2=0,5$; $t_3=1$; $t_4=0,5$ и условными вероятностями нахождения в каждом из возможных состояний $q_1=0,7$; $q_2=0,02$; $q_3=0,02$; $q_4=0,02$; $q_5=0,02$; $q_6=0,05$; $q_7=0,03$; $q_8=0,03$; $q_9=0,05$; $q_{10}=0,03$; $q_{11}=0,03$.

Приведенная методика построения алгоритмов поиска дефекта в условиях, когда результаты проверок могут быть неопределены, доведена авторами до программной реализации и используется в автоматизированной системе диагностирования радиоэлектронного оборудования. Результатом работы программы являются деревья поиска дефекта в закодированном виде, используемые в качестве математического обеспечения микро-ЭВМ, управляющей зондом данных.

Список литературы: 1. *Основы технической диагностики* / Под ред. П. П. Пархоменко.— М.: Энергия, 1976.— 464 с. 2. *Шкиль А. С., Рустиков В. А., Черножуков Е. С.* Автоматизированная система проверки и поиска дефектов дискретных устройств.— В кн.: *Вопр. технич. диагностики*. Ростов н/Д, 1983, с. 103—107. 3. *Основы технической диагностики* / Под ред. П. П. Пархоменко.— М.: Энергия, 1981.— 320 с. 4. *Сердаков А. С.* Автоматический контроль и техническая диагностика.— К.: Техніка, 1971.— 244 с.

Поступила в редколлегию 26.03.85.