

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

А. И. САГОЯН, К. Г. БАБАДЖАНИ

ОБ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЦЕДУРАХ ПОИСКА  
 НЕИСПРАВНОСТЕЙ\*

За последнее десятилетие вышло много статей, посвященных вопросу построения оптимальных процедур поиска неисправностей. В них рассматриваются различные критерии оптимизации процедуры поиска, предполагаются различные допущения и ограничения и получены различные методы решения задачи. Вследствие отсутствия общего обзора этих методов, не четко представляются их общности и различия и место каждого из них в вопросе построения оптимальных процедур поиска неисправностей.

В настоящей работе сделана попытка несколько систематизировать ранее полученные результаты и указать вопросы, которые требуют дальнейшего рассмотрения.

Прежде чем перейти к рассмотрению поставленной задачи, введем обозначения, поскольку в различных работах одни и те же величины обозначены по-разному:

$N$ —число компонентов системы;

$P_i$ —вероятность неисправности  $i$ -го компонента системы ( $i=1, 2, \dots, N$ );

$c_i$ —стоимость проверки  $i$ -го компонента системы;

$\phi_i$ —вероятность положительного исхода проверки  $i$ -го исправного компонента (т. е.  $i$ -й исправный компонент в результате проверки признан исправным);

$\psi_i$ —вероятность отрицательного исхода проверки  $i$ -го неисправного компонента (т. е.  $i$ -й неисправный компонент в результате проверки признан неисправным);

$T$ —стоимость общей проверки системы на работоспособность.

Здесь предлагаются пять признаков, по которым производится систематизация рассматриваемых работ:

1. Количество критериев оптимизации, принятых автором.
2. Количество неисправностей, предполагаемых в объекте диагностики.

\* В порядке обсуждения.

3. Исходные данные, необходимые для решения задачи по данному методу.

4. Достоверность результата диагностики.

5. Связи между отдельными проверками.

Исходя из вышесказанного, построена таблица 1, в строках которой проставлены номера работ (см. список цитируемой литературы\*), а в столбцах — номера пяти предложенных признаков; причем, каждый столбец разбит на два подстолбца в зависимости от отношения метода, рассматриваемого в работе к данному признаку. Тогда на пересечении  $k$ -й строки и  $j$ -го подстолбца ( $k=1, 2, \dots, 9$ ;  $j=1, 2, \dots, 10$ ) проставлен знак +, если методу, взятому из  $k$ -й работы, присуще определение, стоящее в верхней строке  $j$ -го подстолбца. В противном случае клетка  $(k, j)$  пустая. После знака в клетке может быть дополнительное пояснение. Например, в клетке (5, 5) стоит обозначение + ( $P_i, \gamma_i$ ). Это означает, что для применения метода, взятого из [5], необходимо знать  $P_i$  и  $\gamma_i$  (для всех  $i=1, 2, \dots, N$ ).

Таблица 1

		Метод и определение признака									
		1		2		3		4		5	
№№ работ	Один критерий	Несколько критериев	Единичная не- исправность	Кратная не- правность	Параметры известны	Параметры неизвестны	Неопределён- ность проверки не допуск.	Неопределён- ность проверки допуск.	Проверки не- зависимы	Проверки за- висимы	
	1	++		++		$(P_i, \gamma_i, T_i)$			$\frac{1}{(nc > 2)}$		
2	++		++		$(P_i, \gamma_i = 1)$			$\frac{1}{(nc = 1)}$		++	
3	++		++		$(P_i, \gamma_i, \gamma_i = c = 1)$			$\frac{1}{(\gamma_i = c \neq 1)}$		++	
4(1)	++		++		$(P_i, \gamma_i)$		++	$\frac{1}{(b_i = 1)}$		++	
4(2)	++		++			$(P_i, \gamma_i)$	++			++	
4(3)	++		++		$(P_i, \gamma_i)$		++			++	
5	++			++	$(P_i, \gamma_i)$		++			++	
6	++			++	$(P_i, \gamma_i, b_i, \gamma_i)$		++	+		++	
7	++	+(2критер.)		++	$(P_i, \gamma_i)$		++			++	
8	++			++	$(P_i, \gamma_i)$		++			++	
9(1)	++	(4критер.)	++		$(P_i, \gamma_i)$		++			++	
9(2)	++	(4критер.)	++		$(P_i, \gamma_i)$		++	+		++	
9(3)	++	(4критер.)	++		$(P_i, \gamma_i)$		++			++	

Для наиболее полного анализа таблицы следует сделать несколько замечаний.

а) Желательно рассматривать несколько критериев. Тогда, как указано в [9], при совпадении процедур поиска, оптимальных в смысле различных критериев, для построения программы поиска можно

\* Если в данной работе рассматриваются несколько методов, то им отводятся отдельные строки:  $k(l_1), k(l_2), \dots$ ; где  $k$  — номер данной работы,  $l_1, l_2, \dots$  — номера соответствующих методов.

выбрать критерий, позволяющий наиболее просто рассчитывать оптимальную процедуру.

б). В современных сложных системах вероятность кратных неисправностей большая. Поэтому методы для отыскания таких неисправностей, представляющих особый интерес, эффективнее методов, ограничивающихся рассмотрением лишь единичных неисправностей.

в). Как правило, исходными данными для построения оптимальной процедуры поиска в большинстве случаев являются  $P_j$  и  $\gamma_j$ . Даже приближенные вычисления этих параметров сопряжены с известными трудностями [1], [6], [8]. Поэтому естественнее считать более сильными методы, которые требуют меньше данных об объекте диагностики.

г). Современные устройства контроля сами являются сложными техническими объектами, в работе которых возможны сбои. Это приводит к неопределенности проверок объекта диагностики, в результате которой исправный компонент может быть ошибочно принят за неисправный, и наоборот. Поэтому большим достоинством обладают методы, учитывающие такие неопределенности.

д). Если объект диагностики предполагается состоящим из функционально связанных элементов, то представляются лучшими методы, учитывающие эти связи. Тогда проверка какого-либо компонента дает информацию о состоянии еще нескольких из непроверенных компонент, что позволяет исключить возможность неисправностей целой совокупности этих компонент, т. е. их проверку.

Учитывая вышеприведенные замечания, при просмотре табл. 1 можно заметить, что метод, обозначенный в правом подстолбце  $\nu$ -го столбца ( $\nu=1, 2, \dots, 5$ ), предпочтительнее метода, имеющего обозначение в левом подстолбце того же столбца.

Введем коэффициент эффективности  $d_{kj}$ :

$$d_{kj} = \begin{cases} 0 & \text{для пустых клеток;} \\ 1 & \text{для заполненных клеток, принадлежащих левым подстолбцам;} \\ 2 & \text{для заполненных клеток, принадлежащих правым подстолбцам.} \end{cases}$$

Отсюда, для каждого метода, взятого из работы с номером  $k$ , можно вычислить суммарный коэффициент эффективности:

$$D_k = \sum_{j=1}^{10} d_{kj}.$$

Например, для  $k=6$

$$D_6 = \sum_{j=1}^{10} d_{6j} = 1 + 0 + 0 + 2 + 1 + 0 + 0 + 2 + 1 + 0 = 7.$$

Очевидно,  $D_{k_{\max}} = 10$  (для любого  $k$ ), что соответствует случаю, когда для данного  $k$  все заполненные клетки принадлежат правым подстолбцам.

Из таблицы видно, что наибольшее  $D_k=7$  предлагают [4] (метод 2), [5; 7], [9] (метод 2). Однако, это не значит, что другие методы уступают перечисленным. Достоинства таблицы в другом: а) таблица показывает возможные пути дальнейшего повышения эффективности данного метода  $D_k \rightarrow D_{kmax}$ ; б) позволяет выбрать наиболее подходящий метод для заданного объекта диагностики. Кроме того, таблица может расширяться за счет предложения новых методов, а также признаков, характеризующих эти методы.

Одним из авторов в отдельной работе коэффициент эффективности  $D_7=7$  доведен до  $D_8=8$  за счет перемещения знака + из клетки (5, 7) в клетку (5, 8).

В заключение следует отметить, что здесь рассматривались работы наиболее характерные (по нашему мнению) для построения оптимальных процедур поиска.

ЕрПИ им. К. Маркса

Поступило 22. XII 1971

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Firstman S. J., Gluss B.* Optimum search routines for automatic fault location, *Operation Research*, 1960, vol. 8, № 4, p. 512-523.
2. *Староверов О. В.* Об одной задаче поиска. Теория вероятностей и ее приложения, 1963, т. VIII, вып. 2.
3. *Лобатов Ю. В.* Оптимальная процедура локализации неисправности в модуляризованной радиоэлектронной системе «Изв. АН СССР. Техническая кибернетика», 1964, № 4.
4. *Hohn A. L., Saltz.* Mathematical Model for Determination of Efficient Troubleshooting Routes, *IRE Transactions*, 1958, PG-RQC-13, July.
5. *Кинигт Н. В.* Об одной процедуре поиска неисправностей. «Автоматрич», 1965, № 3.
6. *Winter B. B.* Optimal Diagnostic Procedures, *IRE Transactions*, 1960, RQC-9, №3.
7. *Brule I. D., Johnson R. A., Kletsky E. I.* Diagnosis of Equipment Failures, *IRE Transactions*, April, 1960, PRQC-9, № 1.
8. *Kletsky E. I.* An Application of the Information Theory to Failure Diagnosis, *IRE Transactions*, December, 1960, RQC-9, № 3.
9. *Кинигт Н. В.* О критериях оптимизации процесса поиска неисправностей. «Изв. СО АН СССР, сер. техн. наук», 1965, № 10, вып. 3.