



ОРГАНИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОДИНОЧНЫХ НЕИСПРАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА РАЗМЕРА 7×7 С ДВУМЯ ПУТЯМИ МЕЖДУ ДВУМЯ АБОНЕНТАМИ

В.А. Ведешенков

Предложена организация диагностирования, основанная на использовании единого теста контроля и 14 подмножеств из четырех дополнительных проверок для каждой «неисправной» подсистемы. Предложен вариант построения подмножества диагностических проверок, обеспечивающий единообразие синдромов проверки компонентов с одинаковыми номерами в любой «неисправной» подсистеме. Отмечено, что требуемая точность диагностирования гарантирована различием синдромов проверки в любой «неисправной» подсистеме. Приведен пример применения алгебро-логического метода для дешифрации результатов проверок.

Ключевые слова: цифровая система, минимальный квазиполный граф размера 7×7 , компонент, синдром проверки, «неисправная» подсистема.

ВВЕДЕНИЕ

Минимальный квазиполный граф образуется на основе однородного двудольного графа, одну долю которого составляют коммутаторы $m \times m$, а другую — m -портовые абоненты. В одной доле имеется N коммутаторов, а в другой — N абонентов. Для рассматриваемых топологий параметры N и m связаны соотношением $N = m(m - 1)/\sigma + 1$ и не могут быть взяты произвольно. Значение m выбирается минимальным, при котором любые два узла в одной доле связаны σ путями длины два через разные узлы в другой доле. Каждый такой путь проходит через один коммутатор, и разные пути проходят через разные коммутаторы [1–3]. (Далее такие коммутаторы будем называть парными для абонентов, которые они соединяют; например, на рисунке коммутаторы 8 и 9 (10 и 12, 11 и 14) являются парными для абонентов 1 и 2 (3 и 6, 4 и 7) соответственно.

В числе возможных областей применения графов с подобной новой структурой называют отказоустойчивые многомашинные вычислительные

системы (МВС) реального времени, где, например, подмножество вершин одной доли представляет собой совокупность процессорных элементов или вычислительных машин, а подмножество вершин другой доли — коммутаторы [4, 5].

Пример такого графа размера 7×7 показан на рисунке для случая $N = 7$, $m = 4$, $\sigma = 2$.

В работе [6] рассматривалась задача оценивания предельных возможностей достоверного диагностирования числа неисправных компонентов (абонентов, коммутаторов) цифровой системы (ЦС) со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами. Показано, что на выбранной системе тестов анализируемые ЦС являются не больше чем 1-диагностируемыми для неисправных абонентов, 2-диагностируемыми для неисправных коммутаторов и 1,1-диагностируемыми для кратной неисправности абонента и коммутатора.

Однако представляет безусловный интерес организация системы диагностирования, достоверно идентифицирующей местоположение (номер) одиночного неисправного компонента. Цель на-

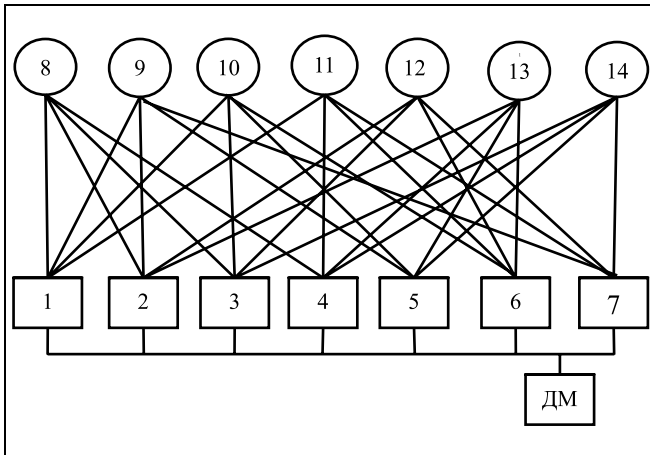


Схема цифровой системы со структурой минимального квазиполного графа $S_{7,4,2}$ размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами: 1–7 – абоненты; 8–14 – коммутаторы; ДМ – диагностический монитор

стоящей работы заключается в разработке системы диагностирования одиночного неисправного компонента ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходная МВС со структурой минимального квазиполного графа $S_{N,m,\sigma}$ размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами представлена диагностическим графом, у которого N вершин одной доли представляют абоненты (процессоры) системы, N вершин другой доли – коммутаторы, причем каждый абонент связан с каждым другим абонентом двумя путями, проходящими через два разных коммутатора.

Будем считать, что допускается устойчивая неисправность одного из компонентов: абонента, коммутатора, линии связи, причем неисправность компонента такова, что прекращает работу того компонента, в котором она возникла, и не влияет на работоспособность смежных компонентов.

В диагностировании ЦС участвует исправный диагностический монитор (ДМ), который находится в модуле, внешнем по отношению к диагностируемой ЦС.

Требуется разработать организацию диагностирования, обеспечивающую достоверное диагностирование одиночного неисправного компонента ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами.

2. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОДИНОЧНОГО НЕИСПРАВНОГО КОМПОНЕНТА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ

Процесс диагностирования компонентов ЦС включает в себя процедуры [6]:

- исполнение исправным модулем функций проверяющего модуля;
- нахождение пути от одного исправного модуля к другому исправному для передачи ему функций проверяющего модуля;
- передача управления следующему исправному проверяющему модулю;
- дешифрация результатов выполненных проверок.

Реализация этих процедур в ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами организована следующим образом [6].

Проверяющим модулем m_j назначен абонент A_j , $j = 1, \dots, 7$, а в проверяемую подсистему $U_{i,k}$ включены компоненты: коммутатор p_i , абонент A_k , линия связи l_{i-k} между ними, линия связи l_{j-i} , соединяющая абонента A_j с коммутатором p_i , а также линии связи l_{k-i} и l_{i-j} , по которым ответ приходит к абоненту A_j , причем $k \neq j$. Например, для ЦС (см. рисунок) для реализации одной из проверок абонент A_5 будет исполнять функции проверяющего модуля m_5 , а в проверяемую подсистему будут входить коммутатор p_9 , абонент A_2 и линии связи l_{5-9} , l_{9-2} , l_{9-5} и l_{2-9} .

Тогда отдельная проверка (тест $P_{j,i,k}$) выполняется следующим образом. Получив управление в процессе диагностирования, проверяющий абонент A_j передает через коммутатор p_i и линии связи l_{j-i} и l_{i-k} проверяемому абоненту A_k запрос о его состоянии. Исправный абонент A_k передает ответ через коммутатор p_i и линии связи l_{k-i} и l_{i-j} проверяемому абоненту A_j , который, получив ответ, формирует оценку $r_{i,k} := 0$ (подсистема «исправна»); если в течение интервала Δt ответ не придет, то $r_{i,k} := 1$ (подсистема «неисправна»). На основании полученных оценок абонент A_j выбирает исправную подсистему U_{i^*,k^*} , абоненту A_{k^*} из состава которой передает управление и необходимую информацию для продолжения процесса диагностирования.

Наконец, абонент $A_{k^{**}}$, выполнив функции проверяющего и не обнаружив в накопленных данных ни одного исправного абонента, не исполнявшего функций проверяющего, закончит процесс диа-



гностирования и перейдет к дешифрации полученных оценок проверок.

Цель дешифрации — преобразовать полученные оценки проверок в списки исправных компонентов и компонентов, подозреваемых в неисправности. Для дешифрации результатов проверок и формирования диагноза применяется алгебрологический метод [7].

Результаты дешифрации абонент $A_{k^{**}}$ через ДМ передает обслуживающему персоналу для проведения восстановительных работ (замены исправным компонентом, подозреваемого в неисправности).

В табл. 1 для ЦС (см. рисунок) показана информация о составе проверяемых подсистем $U_{i,k}$ и номерах проверяющих их абонентов A_j ; для абонента $A_j, j = 5, 1, \dots, 7$ записаны номера компонентов и линий связи, входящих в состав подсистем $U_{i1,k1}$ и $U_{i2,k2}$, проверяемых абонентом A_j при исполнении проверок строки T_j .

Отметим, что в клетках строк T_5, \dots, T_7 табл. 1 показаны номера индексов проверяющего абонента и проверяемых подсистем без символов абонента A , проверяемой подсистемы U и линии связи l , поскольку эти номера однозначно определяют тип компонента. Отметим также, что в записи каждой подсистемы коммутатор вписан дважды, чтобы сохранить порядок прохождения информации при выполнении данной проверки. В табл. 1 выделены клетки для записи оценок результатов проверки $r_{i1,k1}, r_{i2,k2}$ соответствующих подсистем абонентом A_j .

Приведенная выше организация диагностирования предполагает обход всех исправных абонентов, выполнение ими функций проверяющих модулей в отношении смежных подсистем, показанных в соответствующей строке табл. 1, анализ

результатов выполненных проверок, передачу накопленной информации и управления следующему исправному абоненту, последний из которых выполняет дешифрацию полученных результатов проверок и формирует диагноз, который передает в ДМ.

Все эти действия проводятся независимо от числа и типов неисправных компонентов, предполагаемых в составе диагностируемой ЦС. Однако довольно вероятно ситуация, когда в функционирующей ЦС возникает отказ одного компонента. Для обнаружения (не диагностирования) неисправности любого компонента достаточно, чтобы его неисправность проявлялась хотя бы на одной из выполненных проверок. В табл. 1 показан вариант системы проверок, в которых номер любой линии связи в ЦС (см. рисунок) вписан только один раз. Что касается абонентов и коммутаторов, то номер каждого из них встречается в табл. 1 два раза.

Число единичных оценок среди результатов выполненных проверок совпадает с числом неисправных компонентов, обнаруженных на множестве выполненных проверок. Следовательно, при неисправности только одной линии связи ЦС в результатах выполнения проверок из табл. 1 будет только одна единичная оценка, указывающая, что в составе данной проверяемой подсистемы есть неисправная линия связи. Согласно записям в табл. 1 неисправность одного абонента или коммутатора может обнаруживаться на двух проверках.

С учетом этих фактов остановим процесс контроля работоспособности при получении первого единичного результата и перейдем к диагностированию неисправного компонента из числа тех шести, которые входят в состав подсистемы с единичной оценкой (назовем ее для последующих ссылок «неисправной»).

Таблица 1

Таблица состава проверяемых подсистем

Строки T_j	Абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$, оценки результатов их проверок $r_{i,k}$			
		$U_{i1,k1}$	$r_{i1,k1}$	$U_{i2,k2}$	$r_{i2,k2}$
T_5	5	(5-9), 9, (9-1), 1, (1-9), 9, (9-5)		(5-13), 13, (13-2), 2, (2-13), 13, (13-5),	
T_1	1	(1-10), 10, (10-3), 3, (3-10), 10, (10-1)		(1-11), 11, (11-6), 6, (6-11), 11, (11-1)	
T_3	3	(3-8), 8, (8-2), 2, (2-8), 8, (8-3)		(3-14), 14, (14-4), 4, (4-14), 14, (14-3)	
T_2	2	(2-12), 12, (12-6), 6, (6-12), 12, (12-2)		(2-9), 9, (9-7), 7, (7-9), 9, (9-2)	
T_6	6	(6-13), 13, (13-4), 4, (4-13), 13, (13-6)		(6-10), 10, (10-5), 5, (5-10), 10, (10-6)	
T_4	4	(4-11), 11, (11-7), 7, (7-11), 11, (11-4)		(4-8), 8, (8-1), 1, (1-8), 8, (8-4)	
T_7	7	(7-14), 14, (14-5), 5, (5-14), 14, (14-7)		(7-12), 12, (12-3), 3, (3-12), 12, (12-7)	

Рассмотрим пример. Предположим, что при проведении контроля работоспособности рассматриваемой ЦС, результаты которого показаны в табл. 2, абонент 5 сформировал две нулевые оценки, а абонент 1 сформировал единичную оценку для подсистемы $U_{i_2, k_2} = [(1-11), 11, (11-6), 6, (6-11), 11, (11-1)]$. Эта же «неисправная» подсистема показана в строке 0 табл. 3.

Дополнительные проверки, необходимые для диагностирования неисправного компонента из состава этой подсистемы, показаны в строках 1–4 табл. 3. Полу жирным шрифтом выделены компоненты, не входящие в состав «неисправной» подсистемы. В клетках правой части табл. 3 показаны синдромы R_j (результаты проверок 1–4) в предположении, что неисправен компонент «неисправной» подсистемы: линия связи (1-11), коммутатор 11, линия связи (11-6), абонент 6, линия связи (6-11), линия связи (11-1), — номером которого озаглавлен соответствующий столбец. (Содержание столбца R_j^* и строки «Диагноз» будет пояснено в следующем параграфе.)

Различие синдромов R_j , показанных в столбцах табл. 3, обеспечивает однозначный диагноз любо-

го неисправного компонента K_j при использовании проверок, показанных в строках 1–4 табл. 3.

Рассмотрим способ построения дополнительных проверок, обеспечивающих диагностирование с точностью до одного из компонентов «неисправной» подсистемы. Для того, чтобы обеспечить такую точность диагностирования, каждая из дополнительных проверок должна включать в свой состав только некоторые из компонентов «неисправной» подсистемы.

В строке 0 обобщенной диагностической таблицы (табл. 4) показаны компоненты «неисправной» подсистемы, соединенные стрелками, отражающими направление передачи информации между соседними компонентами. В строках 1–4 табл. 4 таким же способом показаны компоненты дополнительных проверок, обеспечивающих идентификацию неисправного компонента в составе «неисправной» подсистемы. В клетках строки «Диагноз» табл. 4 показаны компоненты K_1, K_2, \dots, K_6 , с точностью до одного из которых обеспечивается диагностирование.

Для сравнения напомним, что в строке 0 табл. 3 компоненты «неисправной» подсистемы имеют

Таблица 2

Таблица контроля

Строки T_j	Абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$, оценки результатов их проверок $r_{i,k}$			
		U_{i_1, k_1}	r_{i_1, k_1}	U_{i_2, k_2}	r_{i_2, k_2}
T_5	5	(5-9), 9, (9-1), 1, (1-9), 9, (9-5)	0	(5-13), 13, (13-2), 2, (2-13), 13, (13-5)	0
T_1	1	(1-10), 10, (10-3), 3, (3-10), 10, (10-1)	0	(1-11), 11, (11-6), 6, (6-11), 11, (11-1)	1

Таблица 3

Диагностическая таблица

№ п/п	Абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$	Синдром R_j при неисправном компоненте K_j						
			R_j^*	(1-11)	11	(11-6)	6	(6-11)	(11-1)
0	1	(1-11) → 11 → (11-6) → 6 → (6-11) → 11 → (11-1)	1	1	1	1	1	1	1
1	1	(1-11) → 11 → (11-4) → 4 → (4-11) → 11 → (11-1)	1	1 ₁	1 ₁	0 ₁	0 ₁	0 ₁	1 ₁
2	1	(1-11) → 11 → (11-6) → 6 → (6-10) → 10 → (10-1)	1	1 ₂	1 ₂	1 ₁	1 ₁	0 ₂	0 ₁
3	1	(1-10) → 10 → (10-6) → 6 → (6-11) → 11 → (11-1)	0	0 ₁	1 ₃	0 ₂	1 ₂	1 ₁	1 ₂
4	1	(1-10) → 10 → (10-6) → 6 → (6-10) → 10 → (10-1)	0	0 ₂	0 ₁	0 ₃	1 ₃	0 ₃	0 ₂
		Диагноз	l_{1-11}	l_{1-11}	c_{11}	l_{11-6}	a_6	l_{6-11}	l_{11-1}



конкретные номера: K_1 — линия связи (1-11), K_2 — коммутатор 11, K_3 — линия связи (11-6), K_4 — абонент 6, K_5 — линия связи (6-11), K_6 — линия связи (11-1). В строках 1—4 табл. 3 таким же способом показаны компоненты дополнительных проверок, обеспечивающих идентификацию неисправного компонента в составе «неисправной» подсистемы.

В проверку строки 1 табл. 4 включены дополнительные компоненты A_1 (абонент), l_1 и l_2 (линии связи). Конкретные номера этих компонентов найдем с учетом того, что цепочка ($l_1 \rightarrow A_1 \rightarrow l_2$) находится между двумя компонентами K_2 (коммутатор), через которые она связана с компонентом K_0 (начальным абонентом для всех пяти проверок). По таблице связей (или по графу ЦС, см. рисунок) найдем, что для K_0 (в табл. 3 — абонент 1) и K_2 (коммутатор 11) в качестве A_1 можно использовать абоненты 4, 6, 7, но абонент 6 входит в «неисправную» подсистему, поэтому в табл. 3 для проверки 1 выбран абонент 4. Знание номеров абонента A_1 (номер 4) и компонента K_2 (номер 11) позволяет однозначно определить номера l_1 (11-4) и l_2 (4-11). Такое построение пути проверки 1 позволяет передать ответ абонента 4 на запрос абонента 1 путем, в котором не участвуют абонент 6 и линии связи (6-11) и (11-1) из «неисправной» подсистемы табл. 3.

В проверку строки 2 табл. 4 входят компоненты C_1 (коммутатор) и l_3, l_4 (линии связи). Их конкретные номера найдем с учетом того, что цепочка ($l_3 \rightarrow C_1 \rightarrow l_4$) находится между компонентами K_4 и K_0 (абонентами 6 и 1 в строке 2 табл. 3). В таблице связей анализируемой ЦС для абонентов 6 и 1 парными коммутаторами являются 10 и 11. В качестве компонента C_1 выбираем коммутатор 10. Знание номеров коммутатора C_1 (номер 10) и абонентов K_4

(номер 6) и K_0 (номер 1) позволяет однозначно определить номера l_3 (6-10) и l_4 (10-1). Такое построение пути проверки 2 позволяет передать ответ абонента 6 на запрос абонента 1 путем, в котором не участвуют коммутатор 11 и линии связи (6-11) и (11-1) из «неисправной» подсистемы табл. 3.

В проверку третьей строки включены те же основные компоненты K_0, K_4, K_2 и C_1 , что и во вторую проверку, но направления проверок инверсны друг к другу. Поэтому линии связи l_5 и l_6 в 3-й проверке [(1-10), (10-6)] инверсны линиям связи l_3 и l_4 во 2-й проверке [(10-1), (6-10)], а в реализации третьей проверки не участвуют коммутатор 11 и линии связи (1-11) и (11-6).

В четвертой проверке компонент K_4 (абонент 6) проверяется по путям, отличным от путей 1-й проверки и проходящим через компонент C_1 (коммутатор 10), парный компоненту K_2 (коммутатору 11) относительно компонентов K_0 и K_4 (абонентов 1 и 6). Отсюда естественное вхождение компонентов l_5, l_6, l_3, l_4 (линий связи (1-10), (10-6), (6-10), (10-1)) в состав 4-й проверки и отсутствие компонентов K_1, K_2, K_3, K_5, K_6 (в нашем примере — коммутатора 11, линий связи (1-11), (11-6), (6-11), (11-1)).

Логическое подобие проверок, приведенных в табл. 3 и 4, обеспечивает единообразие получаемых результатов проверок и позволяет записать в правой части табл. 4 значения синдромов R_i (результатов проверок), совпадающие со значениями соответствующих синдромов в табл. 3.

Представленные в данном параграфе некоторые аспекты диагностирования одиночного неисправного компонента в рассматриваемой ЦС позволяют сформулировать следующий способ организации такого диагностирования.

Таблица 4

Обобщенная диагностическая таблица

№ п/п	Абонент K_0	Проверяемые подсистемы	Синдром R_i						
			R_i^*	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6
0	K_0	$K_1 \rightarrow K_2 \rightarrow K_3 \rightarrow K_4 \rightarrow K_5 \rightarrow K_2 \rightarrow K_6$	1	1	1	1	1	1	1
1	K_0	$K_1 \rightarrow K_2 \rightarrow l_1 \rightarrow A_1 \rightarrow l_2 \rightarrow K_2 \rightarrow K_6$	*	1	1	0	0	0	1
2	K_0	$K_1 \rightarrow K_2 \rightarrow K_3 \rightarrow K_4 \rightarrow l_3 \rightarrow C_1 \rightarrow l_4$	*	1	1	1	1	0	0
3	K_0	$l_5 \rightarrow C_1 \rightarrow l_6 \rightarrow K_4 \rightarrow K_5 \rightarrow K_2 \rightarrow K_6$	*	0	1	0	1	1	1
4	K_0	$l_5 \rightarrow C_1 \rightarrow l_6 \rightarrow K_4 \rightarrow l_3 \rightarrow C_1 \rightarrow l_4$	*	0	0	0	1	0	0
		Диагноз	K_i^*	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6

По команде ДМ о начале диагностирования начальный абонент A_j (в табл. 1 абонент 5) выполняет необходимые действия по реализации двух проверок из строки T_5 табл. 1. При получении нулевых результатов абонент 5 передает управление для продолжения проверок абоненту 1 (из следующей строки табл. 1), который при нулевых результатах передает управление абоненту 2 из следующей строки и т. д. до получения единичного результата. Абонент A_j^* , получивший единичный результат для одной из двух проверок своей строки T_j , переходит к процедурам диагностирования:

— находит в памяти четыре проверки, построенные для диагностирования компонентов «неисправной» подсистемы, соответствующей данному единичному результату;

— организует выполнение этих проверок, что возможно, так как проверяющим модулем для них назначен абонент A_j^* ;

— собирает результаты выполненных проверок, сравнивает сформированный синдром R_j^* со столбцами табл. 4;

— при совпадении с одним из столбцов считает диагнозом номер компонента, записанного в соответствующей клетке строки «Диагноз», который вместе с результатами проверок пересылает через ДМ обслуживающему персоналу для замены обнаруженного неисправного компонента;

— при несовпадении синдрома R_j^* ни с одним из столбцов табл. 4 считает, что полученной информации недостаточно, нужны дополнительные диагностические процедуры.

Предлагается следующая организация этих процедур:

1) продолжить выполнение проверок, оставшихся в табл. 1, исключив из числа проверяющих тот абонент, который входит в состав обнаруженной ранее «неисправной» подсистемы;

2) при получении единичного результата проверки для второй обнаруженной «неисправной» подсистемы выполнить 4 соответствующие дополнительные проверки, провести дешифрацию полученного синдрома, синдром и результат дешифрации переслать в ДМ для информации обслуживающего персонала;

3) если проверка с единичным результатом не является последней в табл. 1, то вернуться в п. 1, если в табл. 1 выполнены все проверки, то переслать в ДМ информацию об окончании диагностических процедур.

Обслуживающий персонал, получив информацию о дешифрации синдромов дополнительных

проверок всех обнаруженных «неисправных» подсистем и проанализировав ее, сможет принять более обоснованное решение об идентификации неисправного компонента.

3. ДЕШИФРАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕРОК

Для подтверждения результатов диагностирования, показанных в строке «Диагноз» табл. 4, выполним дешифрацию результатов дополнительных проверок для «неисправной» подсистемы из клетки T_{12} табл. 1. Для этого вернемся к табл. 3, в столбцах правой части которой показаны синдромы R_j проверок из строк 1–4 в предположении неисправности одного из компонентов «неисправной» подсистемы, показанной в строке 0.

Предполагаемый характер функционирования компонентов «работа — отказ» позволяет описывать техническое состояние компонента двоичной переменной: исправен — 0, неисправен — 1 и использовать алгебрологический метод [7] для дешифрации результатов, показанных в столбцах табл. 3.

Напомним основные положения этого метода, несколько модифицированного применительно к рассматриваемому примеру.

А. Обозначим переменной \overline{m}_n исправное состояние компонента с номером n , а переменной m_n — неисправное состояние компонента с номером n , т. е. для этих переменных справедливы логические соотношения:

— компонент n исправен $\overline{m}_n = 1, m_n = 0$,

— компонент n неисправен $\overline{m}_n = 0, m_n = 1$.

Функцию технического состояния компонентов с номерами n_1, n_2, \dots, n_k запишем так:

— при нулевом результате их проверки тестом r_j (обозначим оценку \overline{r}_j):

$$\overline{F}_j = \overline{m}_{n_1} \wedge \overline{m}_{n_2} \wedge \dots \wedge \overline{m}_{n_k}$$

(все компоненты исправны),

— при единичном результате их проверки тестом r_j (обозначим оценку r_j):

$$F_j = m_{n_1} \vee m_{n_2} \vee \dots \vee m_{n_k}$$

(хотя бы один из компонентов неисправен).

Б. Метод дешифрации результатов тестирования ЦС на множестве проверок p_1, p_2, \dots, p_k состоит из следующих этапов.



1. Для каждого результата \bar{r}_j (r_j) записать функцию \bar{F}_j (F_j), в которую подставить номера компонентов, взятые из состава проверки p_j .

2. Для упрощения последующих преобразований в сформированных функциях \bar{F}_j и F_j оставить только те переменные, которые входят в «неисправную» подсистему, приведенную в 0-й строке табл. 3 (в предположении, что остальные компоненты ЦС исправны и не могут войти в число подозреваемых в неисправности).

3. Сформировать функцию Φ как конъюнкцию всех функций F_j и \bar{F}_j , упростить дизъюнктивные члены функций F_j , вычеркнув те переменные, для которых в функциях \bar{F}_j есть одноименные переменные с отрицанием (с чертой сверху).

4. Произвести конъюнктивное перемножение оставшихся членов функций F_j , выполнить поглощение членов большей длины членами меньшей длины. При этом будут полезны известные формулы:

$$\overline{m_n} \wedge m_n = 0, \quad \overline{m_n} \vee m_n = 1;$$

$$\overline{m_n} \wedge (\overline{m_n} \vee \overline{m_p}) = \overline{m_n}.$$

5. Выделить из полученного логического выражения члены минимальной длины. Они определяют диагноз: подмножество компонентов, подозреваемых в неисправности по результатам выполненных проверок.

В. Перейдем к дешифрации синдромов R_j из табл. 3, в которой для упрощения последующих ссылок введем нижний индекс, отражающий порядковый номер цифры (0 или 1) в каждом столбце отдельно. (Единицы в клетках строки 0 не влияют на различимость компонентов этой подсистемы, а потому при дешифрации не учитываются.)

Построим необходимые логические функции для результатов столбца R_1 (напомним, что в приведенных ниже формулах функций оставлены переменные только тех компонентов, которые входят в проверку из 0-й строки):

$$F_1 = l_{1-11} \vee c_{11} \vee l_{11-1};$$

$$F_2 = l_{1-11} \vee c_{11} \vee l_{11-6} \vee a_6;$$

$$\bar{F}_1 = \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{6-11} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{l}_{11-1};$$

$$\bar{F}_2 = \bar{a}_6,$$

где переменные l_{1-11} , l_{11-1} , l_{11-6} , c_{11} , a_6 присвоены линиям связи (1-11), (11-1), (11-6), коммутатору 11, абоненту 6 соответственно. Тогда конъюнкция функций F_1 , F_2 , \bar{F}_1 , \bar{F}_2 будет иметь вид (после вычеркивания повторяющихся переменных):

$$\Phi(R_1) = [l_{1-11} \vee c_{11} \vee l_{11-1}] \wedge [l_{1-11} \vee c_{11} \vee l_{11-1} \vee a_6] \wedge \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{6-11} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{l}_{11-1};$$

а после вычеркивания из скобок переменных c_{11} , l_{11-1} , a_6 , для которых в функции Φ есть переменные с отрицанием, получим правильный диагноз:

$$\Phi(R_1) = l_{1-11} \wedge \bar{l}_{6-11} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{l}_{11-1} \wedge \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{2-13} \wedge \bar{l}_{11-6},$$

подтверждающий неисправность линии связи (1-11), исправность коммутатора 11, абонента 6, линий связи (6-11), (11-1), что касается линии связи (11-6), то ее состояние осталось не идентифицированным. Именно неисправность линии связи (1-11) показана в строке «Диагноз» для синдрома R_1 .

Выполнив аналогичные построения для синдромов R_2 , ..., R_6 , получим следующие функции $\Phi(R_2)$, ..., $\Phi(R_6)$:

$$\Phi(R_2) = c_{11} \wedge \bar{a}_6 \vee \bar{a}_6 \wedge [l_{1-11} \wedge l_{6-11} \vee l_{1-11} \wedge l_{11-1} \vee l_{11-1} \wedge l_{11-6}],$$

$$\Phi(R_3) = l_{11-6} \wedge \bar{l}_{1-11} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{l}_{11-1} \wedge \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{6-11},$$

$$\Phi(R_4) = a_6 \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{l}_{1-11} \wedge \bar{l}_{11-1} \wedge \bar{l}_{6-11} \wedge \bar{l}_{11-6},$$

$$\Phi(R_5) = l_{6-11} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{1-11} \wedge \bar{l}_{11-1} \wedge \bar{l}_{11-6},$$

$$\Phi(R_6) = l_{11-1} \wedge \bar{c}_{11} \wedge \bar{a}_6 \wedge \bar{l}_{1-11} \wedge \bar{l}_{11-6} \wedge \bar{l}_{6-11}.$$

В представленных функциях член минимальной длины, если в функции $\Phi(R_j)$ их несколько, или единственный член определяет диагноз, соответствующий синдрому R_j , в котором правильно определяется неисправный компонент, исправные компоненты и компоненты, состояние которых осталось не идентифицированным на данном синдроме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена организация диагностирования одиночных неисправных компонентов цифровых систем со структурой минимального квазиполного

графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами. Она основана на совместном использовании единого теста контроля работоспособности и 14 подмножеств из четырех дополнительных проверок. Каждое подмножество предназначено для диагностирования одного неисправного компонента из состава каждой «неисправной» подсистемы.

Предложен вариант построения подмножества диагностических проверок, обеспечивающих требуемую точность диагностирования. Для обеспечения такой точности в состав каждой из дополнительных проверок должны входить только некоторые из компонентов «неисправной» подсистемы. Особенности предложенного варианта являются:

- различие синдромов проверки неисправных компонентов любой «неисправной» подсистемы;
- единообразие синдромов проверки компонентов с одинаковыми номерами, входящих в любую «неисправную» подсистему.

Эти особенности упрощают дешифрацию синдрома проверки, полученного для конкретной «неисправной» подсистемы, которая сводится к его сравнению с шестью возможными синдромами, одинаковыми для любой диагностируемой подсистемы. При совпадении полученного синдрома с одним из шести возможных, показанных в табл. 4, неисправным считается компонент с номером, равным номеру совпавшего синдрома. При несовпадении предлагается продолжить выполнение проверок, оставшихся в таблице тестов контроля работоспособности, до обнаружения еще одной «неисправной» подсистемы, с которой выполнить те же действия, что и для ранее обнаруженной подсистемы. Новый диагноз передается через диагностический монитор обслуживающему персоналу для принятия более обоснованного решения об идентификации неисправного компонента.

Приведен пример дешифрации результатов дополнительных проверок с использованием алгебрологического метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Каравай М.Ф., Подлазов В.С.* Распределенный полный коммутатор как «идеальная» системная сеть для многопроцессорных вычислительных систем // Управление большими системами. — 2011. — Вып. 34. — С. 92—116. — URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS3405.pdf> (дата обращения 26.10.2015).
2. *Каравай М.Ф., Пархоменко П.П., Подлазов В.С.* Комбинаторные методы построения двудольных однородных минимальных квазиполных графов (симметричных блок-схем) // Автоматика и телемеханика. — 2009. — № 2. — С. 153—170.
3. *Каравай М.Ф., Пархоменко П.П., Подлазов В.С.* Простые методы построения квазиполносвязных графов (симметричных блок-схем) // Сб. тр. IV междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления РАСО`2008 / ИПУ РАН. — М., 2008.
4. *Alverson B., Roweth D., Kaplan L.* Cray XCR Series Network. — 28 p. — URL: <http://www.cray.com/Assets/PDF/products/xcr/CrayXC30Networking.pdf> (дата обращения 26.10.2015).
5. *Alverson R., Roweth D., Kaplan L.* The Gemini System Interconnect // 18th IEEE Symposium on High Performance Interconnects on 2010. — P. 83—87. — URL: <http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/HOTI.2010.23> (дата обращения 26.10.2015).
6. *Ведешенков В.А., Курако Е.А., Лебедев В.Н.* О диагностировании цифровых систем со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 // Проблемы управления. — 2014. — № 6. — С. 68—76.
7. *Ведешенков В.А.* Алгебро-логический метод дешифрации результатов тестирования цифровых систем // Сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы образования и науки» / ООО «Консалтинговая компания Юком». — Тамбов, 2014. — Ч. 2. — С. 33—36.

Статья представлена к публикации членом редсовета чл.-корр. РАН П.П. Пархоменко.

Ведешенков Виктор Алексеевич — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ vva@ipu.ru.

Читайте в ближайших номерах

- ✓ **Белов М.В.** Математическое моделирование жизненных циклов сложных социально-экономических и бизнес-систем
- ✓ **Горбанева О.И., Угольницкий Г.А.** Учет коррупции в моделях сочетания общественных и частных интересов в иерархических системах управления
- ✓ **Еремин Е.Л., Шеленок Е.А.** Комбинированная адаптивная система управления структурно и параметрически неопределенным нелинейным объектом
- ✓ **Каршаков Е.В., Тхоренко М.Ю., Павлов Б.В.** Аэромагнитная градиентометрия и ее применение в навигации
- ✓ **Кулинич А.А.** Семиотические когнитивные карты. Ч. 2. Основные определения и алгоритмы

