

О ДИАГНОСТИРОВАНИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА РАЗМЕРА 7×7

В.А. Ведешенков, Е.А. Курако, В.Н. Лебедев

Рассмотрены задачи диагностирования цифровых систем с новой структурой — минимального квазиполного графа размера 7×7 . Оценки диагностируемости анализируемых цифровых систем установлены на основе результатов диагностирования отказовых ситуаций в системе из 7 абонентов и 7 коммутаторов. Показано, что на выбранной системе тестов анализируемые цифровые системы являются не более чем 1-диагностируемыми для отказавших абонентов, 2-диагностируемыми — для отказавших коммутаторов и 1,1-диагностируемыми для кратного отказа абонента и коммутатора. Приведен пример диагностирования кратного отказа абонента и двух коммутаторов.

Ключевые слова: цифровая система, минимальный квазиполный граф размера 7×7 , абонент, коммутатор, диагностирование, диагностируемость, проверяемая 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 $N = m(m - 1) + 1$ 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].

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 совокупность процессорных элементов или вычислительных машин, а подмножество вершин другой доли — коммутаторы.

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

Задачи диагностирования цифровых систем (ЦС) со структурой минимального квазиполного

графа до сих пор не рассматривались. Для ЦС со структурой симметричного двудольного графа и со структурой типа тороидальной решетки такие задачи рассматривались в работах [2, 3], где для описания результатов проверки компонентов использована модель Барси — Грандони — Маестрини [4].

В статье [5] представлен путевой метод самодиагностирования технического состояния компо-

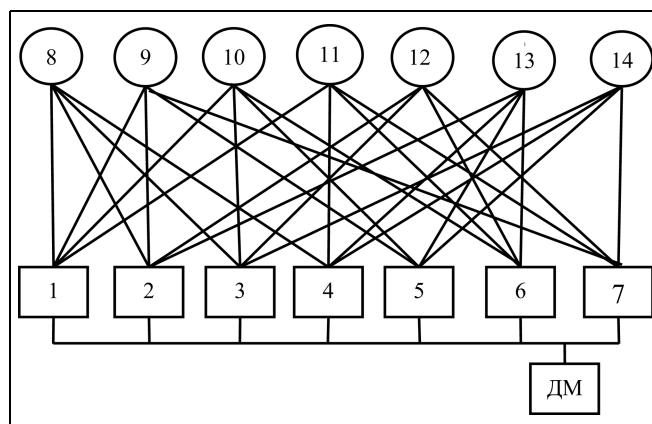


Схема цифровой системы со структурой минимального квазиполного графа $S_{7,4,2}$: 1–7 — абоненты; 8–14 — коммутаторы; ДМ — диагностический монитор



нентов (модулей и линий связи) цифровых систем с циркулянтной структурой, особенность которого заключается в использовании 0-путей (в терминологии работы [6]) для выбора проверяющих модулей и передачи результатов выполненных проверок. Для описания результатов проверки компонентов в работе [5] использована модель Препараты — Метца — Чжена (ПМЧ) [7].

В настоящей работе рассматриваются задачи диагностирования ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 при использовании модели ПМЧ.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходная МВС со структурой минимального квазиполного графа $S_{n, m, \sigma}$ размера 7×7 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 допускаются устойчивые отказы ограниченного числа вершин: абонентов и коммутаторов, причем их неисправности таковы, что прекращают работу компонентов, в которых они возникают, и не влияют на работоспособность смежных компонентов. Линии связи между компонентами считаются исправными.

Для описания результатов тестирования компонентов используется модель ПМЧ. Запуском процессов диагностирования в различных подсистемах ЦС и обработкой полученных результатов занимается исправный диагностический монитор (ДМ), который находится в модуле, внешнем по отношению к диагностируемой ЦС.

Требуется предложить подход к диагностированию компонентов ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 , обеспечивающий ДМ достоверной информацией для дешифрации результатов диагностирования технического состояния компонентов (абонентов, коммутаторов) системы.

2. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДИАГНОСТИРУЕМОСТИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА РАЗМЕРА 7×7

Известно

Определение. Система S из n модулей является однократно диагностируемой относительно t отказов, если все отказавшие модули можно идентифицировать (по результатам дешифрации синдро-

ма R) без замещения при условии, что число отказавших модулей не превышает t . ♦

В дальнейшем будет полезно противоположное данному определению

Утверждение. Система S из n модулей не является однократно диагностируемой относительно t отказов, если диагноз хотя бы одной отказовой ситуации мощностью t содержит ошибки: в числе подозреваемых в отказе названы исправные модули. ♦

Максимальное число одновременно неисправных и произвольно расположенных компонентов, однозначно диагностируемых по результатам однократного тестирования системы, называется степенью t диагностируемости системы.

Аналитические оценки степени диагностируемости ЦС, построенных с использованием двух (и более) типов компонентов, неизвестны. Применительно к рассматриваемой ЦС для единообразия последующего текста будем называть абонентов компонентами первого типа, а коммутаторов — компонентами второго типа.

Для подобных ЦС целесообразно ввести несколько оценок степени диагностируемости: $t_1, (t_2, t_c)$ — оценка диагностируемости компонентов первого типа (второго типа, совокупности компонентов первого и второго типов соответственно). Сравнение этих оценок с количествами компонентов первого (q_1) и второго (q_2) типов в совокупности компонентов, подозреваемых в отказе по результатам диагностирования, позволит оценить достоверность полученных результатов:

— если число компонентов, подозреваемых в отказе, не превышает соответствующих оценок, то полученный диагноз правильный, и достоверность результатов достаточно высока;

— если же хотя бы для одного из компонентов число подозреваемых в отказе превышает свою оценку, то возможно, что диагноз не достоверен, нужны дополнительные проверки для его уточнения.

На основании изложенного предлагается формула для оценки:

$$t_c = (q_1 \leq t_1 ; q_2 \leq t_2). \quad (1)$$

В пользу такой структуры оценки t_c говорит такое соображение: отказы компонентов первого типа ухудшают условия диагностирования компонентов второго типа, так как уменьшают число их потенциально возможных проверок.

Для получения оценок t_1 и t_2 для ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 проведено диагностирование отказовых ситуаций различной кратности с помощью метода из работы [2], пригодного для анализа ЦС с рассматриваемой структурой.

Процесс диагностирования компонентов ЦС включает в себя:

- исполнение исправным модулем функций проверяющего модуля;
- нахождение пути от одного исправного модуля к другому исправному для передачи ему функций проверяющего модуля;
- дешифрацию результатов выполненных проверок.

Для реализации этих диагностических процедур в ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 поступим следующим образом.

Проверяющим модулем m_j назначим абонент A_j , $j = 1, \dots, 7$, а в проверяемую подсистему $U_{i,k}$ включим компоненты: коммутатор p_i и абонент A_k , причем $k \neq j$. Таким образом, индекс (i, k) подсистемы $U_{i,k}$ состоит из номера i , $i = 8, \dots, 14$, проверяемого коммутатора и номера k , $k = 1, \dots, 7$, проверяемого абонента.

Тогда отдельная проверка (тест $t_{i,k}$) будет выполняться следующим образом. Получив управление в процессе диагностирования, проверяющий абонент A_j передает через коммутатор p_i проверяемому абоненту A_k команду на выполнение теста самоконтроля подсистемы $U_{i,k}$. Результаты выполненного теста $t_{i,k}$ абонент A_k передает через коммутатор p_i проверяющему абоненту A_j , который сравнивает их с эталонами и формирует оценку

$$r_{i,k} = \begin{cases} 0, & \text{если результаты совпали с эталонами,} \\ 1 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

На основании полученных оценок абонент A_j выбирает исправную подсистему U_{i^*,k^*} , из состава которой абоненту A_{k^*} передает управление и необходимую информацию для продолжения процесса диагностирования.

В таблице T_S (табл. 1) показана информация о составе проверяемых подсистем $U_{i,k}$ и номерах проверяющих их абонентов A_j , выбранных для диагностирования компонентов системы $S_{7,4,2}$ (см. рисунок). В табл. 1 семь строк T_j , в каждой из которых для проверяющего абонента A_j , $j = 5, 2, \dots, 7$, записаны номера компонентов, входящих в состав подсистем U_{i_1,k_1} , U_{i_2,k_2} и U_{i_3,k_3} , проверяемых абонентом A_j ; в ней также есть поля для записи оценок результатов проверки r_{i_1,k_1} , r_{i_2,k_2} и r_{i_3,k_3} этих подсистем абонентом A_j . (Отметим, что в клетках строк T_5, \dots, T_7 показаны только номера индексов

проверяющего абонента и проверяемых подсистем без указания их символов.).

Состав проверяемых подсистем, показанных в табл. 1, подобран таким образом, что при исправном состоянии компонентов системы после выполнения каждым из проверяющих абонентов проверок трех подсистем каждый из компонентов тестируемой системы (абонент, коммутатор) будет проверен трижды. Это в три раза больше, чем необходимо для контроля исправности системы, но, как будет показано далее, оказывается недостаточным при диагностировании некоторых кратных отказов.

В табл. 2 показаны результаты диагностирования отказовых ситуаций различной кратности рас-

Таблица 1

 Таблица T_S состава проверяемых подсистем

Строка T_j	Проверяющий абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$ и 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}	U_{i_3,k_3}	r_{i_3,k_3}
T_5	5	9, 2		10, 6		14, 3	
T_2	2	8, 1		13, 5		9, 1	
T_1	1	10, 3		9, 7		8, 4	
T_3	3	12, 6		14, 4		10, 5	
T_6	6	13, 4		11, 1		12, 7	
T_4	4	11, 7		8, 3		13, 2	
T_7	7	14, 5		12, 2		11, 6	

Таблица 2

Таблица результатов диагностирования

№ п/п	q_1	q_2	Неисправные компоненты	Диагноз
1	1	0	6	6
2	2	0	1, 6	1, 6
3	2	0	2, 3	2, 3
4	2	0	1, 2	1, 2 + 9
5	2	0	3, 6	3, 6 + 10
6	2	0	2, 4	2, 4 + 8, 13
7	0	2	10, 12	10, 12
8	0	3	10, 12, 14	10, 12, 14
9	0	3	10, 11, 12	10, 11, 12 + 6
10	1	1	6, 8	6, 8
11	1	1	6, 14	6, 14
12	1	2	3, 11, 14	3, 11, 14
13	1	2	6, 10, 12	6, 10, 12
14	1	2	6, 8, 14	6, 8, 14 + 4, 11
15	1	3	3, 10, 12, 14	3, 10, 12, 14
16	1	3	3, 10, 11, 12	3, 10, 11, 12 + 6



Таблица необходимых проверок

№ п/п	Абоненты	Коммутатор	Проверка	Входит ли в табл. 1?
1	1, 6	10	3 → 10, 5	да
2	1, 6	11	4 → 11, 7	да
3	2, 3	8	1 → 8, 4	да
4	2, 3	12	6 → 12, 7	да
5	1, 2	8	4 → 8, 3	да
6	1, 2	9	5 → 9, 7	нет
7	3, 6	10	5 → 10, 1	нет
8	3, 6	12	7 → 12, 2	да
9	2, 4	8	1 → 8, 3	нет
10	2, 4	13	6 → 13, 5	нет

смаатриваемой системы. В столбцах q_1 и q_2 этой таблицы приведены числа отказавших компонентов первого и второго типов в отказовой ситуации, номер которой показан в левом столбце. В столбце «Неисправные компоненты» приведены номера отказавших компонентов, в столбце «Диагноз» — номера компонентов, подозреваемых в отказе по результатам диагностирования этой отказовой ситуации. В клетках на пересечении столбца «Диагноз» и строк 4—9, 14 и 16 результат диагноза показан в виде суммы номеров компонентов правильного диагноза (слева от знака «+») и номеров исправных компонентов, ошибочно признанных отказавшими (справа от знака «+»). (В результатах системы диагностирования знака «+», конечно, нет, здесь он введен для пояснений.)

Сравнение номеров компонентов в столбцах «Неисправные компоненты» и «Диагноз» позволяет сделать следующие выводы.

- Совпадение состава клеток этих столбцов в строках 1—3, 7, 8, 10—13 и 15 говорит о правильности результатов диагностирования отказовых ситуаций, показанных в этих строках.
- В строках 2—6 диагностируются ситуации с одинаковым числом отказавших компонентов первого типа ($q_1 = 2$), но результаты диагноза различаются: правильные (в строках 2 и 3), с одним исправным компонентом, ошибочно названным отказавшим (строки 4 и 5) и с двумя исправными компонентами, ошибочно названными отказавшими (строка 6). Причина таких различий лежит в составе проверок, приведенных в табл. 1. Для исключения коммутатора из числа подозреваемых при отказе двух абонентов, которые он соединяет, нужна конкретная проверка, зависящая от состава различаемых компонентов. Эти проверки для некоторых пар абонентов и коммутаторов показаны в табл. 3. Их включение в состав проверок табл. 1 отмечено в последнем столбце табл. 3. Отметка «да» в строках 1—4 табл. 3 обосновывает правильность диагноза для ситуаций 2 и 3 табл. 2. В свою очередь, отметка «нет» в строках 6, 7, 9 и 10 определяет номера исправных коммутаторов, ошибочно подозреваемых в неисправности при диагнозе ситуаций 4—6 табл. 2.

В работе [8] рассматривался способ оценивания диагностируемости ЦС со структурой симметричного двудольного графа. Показано, что в подобных структурах при отказе двух абонентов в число подозреваемых попадает также соединяющий их исправный коммутатор. Однако в отличие от ЦС со структурой минимального квазиполного графа в ЦС со структурой симметричного двудольного графа размера 7×7 нельзя найти проверки, ана-

логичные проверкам из табл. 3. Дело в том, что в последних ЦС используются трех-входовые коммутаторы, и потому нельзя построить проверку коммутатора без включения одного из отказавших компонентов. Результат такой проверки покажет отказ проверяемой подсистемы, в которую входит и исправный коммутатор.

Как видно из табл. 3, для исключения исправного коммутатора из числа подозреваемых при отказе двух абонентов, которые он соединяет, в диагностический тест должна входить проверка, которая включает два исправных абонента из тех четырех, которые присоединены к данному коммутатору. Отметим, что проверка, построенная для пары абонентов и выбранного коммутатора, отличается от проверок для других пар абонентов и коммутатора, включая выбранный. Из четырех абонентов, присоединенных к одному коммутатору, можно образовать шесть различных пар, каждая из которых требует проверки, отличной от других.

Таким образом, диагностический тест, различающий каждый из семи исправных коммутаторов от двух неисправных абонентов, которые он соединяет, для данной системы должен включать $P = 6 \times 7 = 42$ различные проверки. Возвращаясь к параметрам структуры, значение P можно записать как $P = N m(m - 1)/2 = 7 \cdot 4 \cdot 3/2 = 42$.

В табл. 1 таких проверок только 21, отсюда ошибки диагноза, показанные в табл. 2.

Что касается ошибочно подозреваемых компонентов, показанных в строках 9, 14 и 16, то о причинах их появления будет сказано в § 3.

- Обобщив данные табл. 2, можно заключить, что для гарантированного получения правильного диагноза в ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 при выбранной системе тестов нужно обеспечить выполнение соотношений:

$$q_1 \leq t_1 = 1; q_2 \leq t_2 = 2; t_c = (q_1 \leq 1; q_2 \leq 1). \quad (2)$$

Если при анализе результатов диагноза окажется, что полученные значения q_1 и q_2 (или одна из них) не удовлетворяют этим соотношениям, то для уточнения диагноза можно выполнить следующие действия.

А. Заменить часть подозреваемых компонентов того типа, для которого получено большее значение q_1 или q_2 . Повторить сеанс диагностирования с тем же тестом из 21 проверки. Оценить полученные результаты:

— если они удовлетворяют требуемым соотношениям, то результаты достоверны: нужно заменить подозреваемые компоненты и повторить сеанс диагностирования для подтверждения исправности восстановленной системы;

— если результаты неудовлетворительны, то заменить еще часть подозреваемых компонентов и повторить сеанс диагностирования.

Б. Заменить все подозреваемые компоненты, повторить сеанс диагностирования. В этом случае время восстановления будет меньше, но возможен перерасход запасных частей для замены исправных компонентов.

В. Если у команды, эксплуатирующей систему, есть тест из 42 проверок, запустить его и уточнить диагноз. В этом случае будут исключены ошибки диагноза рассмотренного типа. Этот тест из 42 проверок можно запустить сразу, но время диагностирования будет больше. Подобный запуск теста из 42 проверок может быть целесообразным после длительного перерыва в работе системы и возможного накопления большого числа отказов.

3. ПРИМЕР

3.1. Основные положения путевого метода диагностирования [5]

Если модуль m_j проверяет модуль m_k тестом p_u , то результат проверки обозначается двоичной переменной $r_{jk} = \{0, 1\}$. Если результат $r_{jk} = 0$, то дуга l_{j-k} , соединяющая эти модули в графе системы, называется 0-путем длины 1.

Суть путевого метода диагностирования заключается в том, что в процессе контроля и диагностирования исправные модули по 0-путям поочередно назначаются проверяющими модулями (МПШ) для смежных проверяемых подсистем, проверяют их, а результаты проверок вместе с ранее полученной информацией передают следующему исправному модулю.

Для получения достоверных результатов процесс диагностирования нужно разделить на две части: нахождение достоверно исправного началь-

ного модуля и диагностирование состояния остальных компонентов системы.

Как известно [7], в ЦС с циркулянтной структурой $(w + 1)$ -й модуль достоверно исправен, если он замыкает цепочку из $w \geq t$ 0-путей длины 1 и все модули этой цепочки разноименные (различные). Будем считать, что это положение справедливо и для ЦС анализируемой структуры. Ранее показано, что степень диагностируемости рассматриваемой ЦС для компонентов первого типа (абонентов) $t_1 = 1$. Следовательно, для нахождения достоверно исправного начального модуля достаточно найти 0-путь длины 1 в предположении, что в системе не более одного отказавшего компонента первого типа.

Если текущее состояние системы неизвестно, то можно предположить, что выбранный в качестве начального модуль может быть неисправным. Тогда в соответствии с правилами модели ПМЧ результат проверки может быть недостоверным: как 0, так и 1. Если результат $r_{jk} = 0$, то с учетом ограничения на возможное число отказавших компонентов первого типа модуль m_k можно использовать в качестве проверяющего для диагностирования остальных компонентов системы. Если же $r_{jk} = 1$, то модуль m_j передает в ДМ сигнал о замене начального модуля и повторении процесса диагностирования.

В качестве начального модуля второго цикла целесообразно выбрать один из модулей, не проверяемых начальным модулем первого цикла. В предположении, что за время диагностирования новые отказы не возникают, такая замена позволит исключить возможный источник ошибок в начале этого цикла.

Основные процедуры второй части процесса диагностирования:

— исполнение исправным модулем функций проверяющего модуля;

— поиск пути для передачи управления от одного исправного модуля другому для исполнения функций проверяющего модуля.

Контроль работоспособности цифровой системы заключается в том, что каждый проверяющий модуль должен проверить техническое состояние своих преемников. Простейший способ выполнения проверок одного модуля разными проверяющими модулями — последовательный. Для его реализации на диагностическом графе ЦС нужно построить цикл, который обеспечит однократный обход всех активных модулей (абонентов) исправной системы. Но в рассматриваемой системе нельзя построить цикл, проходящий только через абоненты, так как связи между ними обеспечивают коммутаторы. В цикле, выбранном для диа-



гностирования в данной работе, абоненты, номера которых выделены полужирным шрифтом, чередуются с коммутаторами:

$$\begin{aligned} 5 \rightarrow 9, \quad 2 \rightarrow 8, \quad 1 \rightarrow 10, \quad 3 \rightarrow 12, \quad 6 \rightarrow 13, \\ 4 \rightarrow 11, \quad 7 \rightarrow 14, \quad 5. \end{aligned} \quad (3)$$

В табл. 1 представлена информация о составе проверяемых подсистем $U_{i,k}$ и номерах проверяющих их модулей m_j (абонентов A_j). Нетрудно заметить, что проверяемые подсистемы, показанные в столбце $U_{i1,k1}$, совпадают с двухчленными частями цикла, показанного в выражении (3). Это не случайно, система контроля исправной системы организована так, что при получении проверяющим абонентом A_j нулевых результатов для трех проверяемых им подсистем он передает управление для продолжения процесса абоненту A_{k1} из подсистемы $U_{i1,k1}$. Такая организация позволяет вернуться к начальному абоненту 5 при исправном состоянии всех проверенных компонентов.

3.2. Пример диагностирования

Предположим, что из-за большого перерыва между циклами контроля в рассматриваемой ЦС накопились отказы абонента 6 и двух коммутаторов 8 и 14, причем их неисправности таковы, что прекращают работу компонентов, в которых они возникают, и не влияют на работоспособность смежных компонентов.

По сигналу ДМ о начале контроля начальный абонент 5:

— образует промежуточную таблицу PT_5 , переписывает в нее из таблицы T_5 (см. табл. 1) строку T_5 , найдет в ней индексы (9, 2), (10, 6), (14, 3) проверяемых подсистем $U_{9,2}$, $U_{10,6}$, $U_{14,3}$, передаст абоненту 2 (6, 3) команду «Выполнить самоконтроль подсистемы $U_{9,2}$ ($U_{10,6}$, $U_{14,3}$) и передать результаты проверок абоненту 5».

Получив эту команду, абонент 2 (6, 3) проводит самоконтроль подсистемы $U_{9,2}$ ($U_{10,6}$, $U_{14,3}$) и передает полученные результаты проверок абоненту 5. Абонент 5 формирует оценки $r_{9,2} = 0$, $r_{10,6} = 1$, $r_{14,3} = 1$, записывает их в соответствующие клетки строки T_5 (для сокращения числа таблиц будем записывать результаты проверок, находящиеся в разных модулях, в общую табл. 4), анализирует полученные оценки: так как среди полученных оценок есть нулевая, то передает модулю 2 подсистемы $U_{9,2}$ строку T_5 и управление для перехода к процессу диагностирования. (Отметим, что в строке T_5 и в последующих полужирным шрифтом в результатах проверки выделен 0 того исправного абонен-

та, которому передается управление для продолжения процесса диагностирования.)

Абонент 2:

— образует промежуточную таблицу PT_2 , переписывает в нее из таблицы T_5 строку T_2 , найдет в ней индексы (8, 1), (13, 5), (9, 1) проверяемых подсистем, передаст в эти подсистемы команду «Выполнить самоконтроль и передать результаты проверок абоненту 2»;

— получит оценки результатов контроля $r_{8,1} = 1$, $r_{13,5} = 0$, $r_{9,1} = 0$ и первому из абонентов с нулевой оценкой (абоненту 5) передаст таблицу PT_2 и управление процессом диагностирования.

Получив управление, абонент 5:

— переписывает в таблицу PT_2 из таблицы T_5 строку T_5 , найдет в ней индексы (9, 2), (10, 6), (14, 3) проверяемых подсистем $U_{9,2}$, $U_{10,6}$, $U_{14,3}$, передаст абоненту 2 (6, 3) команду «Выполнить самоконтроль подсистемы $U_{9,2}$ ($U_{10,6}$, $U_{14,3}$) и передать результаты проверок абоненту 5»;

— сформирует оценки $r_{9,2} = 0$, $r_{10,6} = 1$, $r_{14,3} = 1$;

— так как единственный абонент с нулевой оценкой (абонент 2) уже исполнял функции проверяющего, то абонент 5 ищет исправный абонент для исполнения этих функций в строке T_2 таблицы PT_2 , находит 0 (подчеркнут для пояснения) в клетке $r_{i3,k3}$, передает абоненту 1 таблицу PT_2 и управление процессом диагностирования.

Абонент 1, исполняя функции проверяющего, получит от соответствующих подсистем результаты контроля, сформирует оценки $r_{10,3} = 0$, $r_{9,7} = 0$, $r_{8,4} = 1$; передаст таблицу PT_2 и управление про-

Таблица 4

Информация к Примеру (первый запуск)

Строка T_j	Проверяющий абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$, оценки результатов их проверок $r_{i,k}$					
		$U_{i1,k1}$	$r_{i1,k1}$	$U_{i2,k2}$	$r_{i2,k2}$	$U_{i3,k3}$	$r_{i3,k3}$
Таблица PT_5							
T_5	5	9, 2	0	10, 6	1	14, 3	1
Таблица PT_2							
T_2	2	8, 1	1	13, 5	0	9, 1	<u>0</u>
T_5	5	9, 2	0	10, 6	1	14, 3	1
T_1	1	10, 3	0	9, 7	<u>0</u>	8, 4	1
T_3	3	12, 6	1	14, 4	1	10, 5	0
T_7	7	14, 5	1	12, 2	0	11, 6	1

цессом диагностирования абоненту 3, имеющему крайнюю слева нулевую оценку.

Абонент 3 исполнит функции проверяющего модуля, сформирует оценки проверяемых им подсистем $r_{12,6} = 1$, $r_{14,4} = 1$, $r_{10,5} = 0$; обнаружит, что единственный абонент с нулевой оценкой (абонент 5) уже исполнял эти функции, и вынужден искать исправный абонент для выполнения этих функций в строке T_1 таблицы PT_2 — абонент 7.

Абонент 7, выполнив функции проверяющего и не обнаружив в вышележащих строках таблицы PT_2 ни одного исправного абонента, не исполнявшего функций проверяющего, закончит процесс диагностирования и перешлет в ДМ таблицу PT_2 для обработки полученных результатов.

Для обработки и дешифрации результатов проверок ДМ переписывает их из таблицы PT_2 в заранее заготовленную диагностическую таблицу T_D [2]. В табл. 5 представлена таблица T_D после обработки результатов из таблицы PT_2 (см. табл. 4). Поясним структуру табл. 5. В клетках левого столбца перечислены компоненты проверяемых подсистем $U_{i,k}$, взятые из соответствующих клеток таблицы T_S

(см. табл. 1), а клетки следующего столбца предназначены для записи оценок $r_{i,k}$ проверок этих подсистем, полученных в процессе диагностирования. Последующие столбцы обозначены номерами одиночных компонентов системы $S_{7,3,4}$: абоненты — номерами 1—7, коммутаторы — номерами 8—14.

Вхождение компонентов i и k в состав подсистемы $U_{i,k}$, приведенной в левом столбце таблицы T_D , отмечается знаком «*», поставленным в клетку на пересечении столбцов i и k и строки $U_{i,k}$. (Так как в табл. 5 показаны результаты обработки информации из таблицы PT_2 , то знаки «*» остались только в тех шести строках, для которых нет оценок проверок этих подсистем.)

В нижней части таблицы T_D находятся две строки, озаглавленные (в левом столбце) символами A_0 и A_1 и предназначенные для записи результатов обработки полученной информации.

Обработка записей из таблицы PT_2 заключается в следующем:

1) из строк T_2, T_5, \dots, T_7 таблицы PT_2 выделены оценки результатов проверок $r_{8,1} = 1$, $r_{13,5} = 0$,

Таблица 5

 Диагностическая таблица T_D

Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$	$r_{i,k}$	Компоненты системы													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9, 2	0/0		0/0							0/0					
10, 6	1/1						1/1				1/1				
14, 3	1/1			1/1											1/1
8, 1	1/0	1/0							1/0						
13, 5	0/0					0/0								0/0	
9, 1	0/0	0/0								0/0					
10, 3	0/0			0/0							0/0				
9, 7	0/0							0/0		0/0					
8, 4	1/0				1/1				1/1						
12, 6	1/1						1/1						1/1		
14, 4	1/1				1/1										1/1
10, 5	0/0					0/0					0/0				
13, 4	-/-					*/*								*/*	
11, 1	-/-	*/*										*/*			
12, 7	-/-							*/*				*/*			
11, 7	-/0							*/0				*/0			
8, 3	-/0			*/0					*/0						
13, 2	-0		*/0											*/0	
14, 5	1/1					1/1									1/1
12, 2	0/0		0/0										0/0		
11, 6	1/1						1/1					1/1			
A_0		0/0	0/0	0/0	-/0	0/0	-/-	0/0	-/0	0/0	0/0	-/0	0/0	0/0	-/-
A_1		-/-	-/-	-/-	1/-	-/-	1/1	-/-	1/-	-/-	-/-	1/-	-/-	-/-	1/1



Таблица 6

$r_{9,1} = 0, \dots, r_{14,5} = 1, r_{12,2} = 0, r_{11,6} = 1$ и записаны в соответствующие клетки столбца $r_{i,k}$ табл. 5, шесть клеток этого столбца заполнены прочерками (—);

2) значения 0 и 1, записанные в столбце $r_{i,k}$, переписаны в клетки той же строки $U_{i,k}$, отмеченные знаком «*»;

3) заполнены прочерками (—) клетки строк A_0, A_1 ;

4) после этого в клетки строк A_0, A_1 записаны результаты диагностирования в соответствии с правилами:

а) в k -ю клетку строки A_0 записан 0, если в вышележащих клетках этого столбца есть хотя бы один нуль,

б) в клетки на пересечении строки A_1 и столбцов, озаглавленных номерами компонентов 4, 6, 8, 11, 14 записаны 1, так как в вышележащих клетках этих столбцов есть хотя бы одна единица и нет ни одного нуля;

5) расшифровка полученных записей в строках A_0 и A_1 приводит к диагностическим заключениям:

а) исправны 9 компонентов, номера которых определяются местоположением нулевых записей в строке A_0 ;

б) в соответствии с местоположением единиц в строке A_1 подозреваются в отказе абонент 6 и коммутаторы 8 и 14 (что совпадает с номерами компонентов в исходной отказовой ситуации), а также абонент 4 и коммутатор 11 (что является ошибочным заключением).

Число компонентов, показанных в п. б) как подозреваемые в отказе, превышает их число в оценке (1), что свидетельствует о возможной недостоверности полученного диагноза. Для уточнения диагноза заменим на исправный коммутатор 8 и повторим диагностирование системы.

Действия проверяющих абонентов в процессе второго диагностирования аналогичны их действиям во время первого диагностирования. Информация, полученная в процессе второго диагностирования, показана в табл. 6. Результаты проверок отдельных подсистем из табл. 6 переписаны в соответствующие клетки табл. 5. Для отличия цифр первого и второго запусков в табл. 5 принято такое размещение: в каждой клетке цифры первого запуска написаны слева, второго запуска — справа. Такие правила относятся и к клеткам строк A_0 и A_1 . Не останавливаясь на подробностях обработки результатов второго запуска, рассмотрим конечные результаты — записи строк A_0 и A_1 . Они показывают:

а) исправны 12 компонентов, номера которых определяются местоположением нулевых записей в строке A_0 ;

Информация к Примеру (второй запуск)

Строка T_j	Проверяющий абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{i,k}$ и оценки результатов их проверок $r_{i,k}$					
		$U_{11,k1}$	$r_{11,k1}$	$U_{12,k2}$	$r_{12,k2}$	$U_{13,k3}$	$r_{13,k3}$
Таблица PT_5							
T_5	5	9, 2	0	10, 6	1	14, 3	1
T_2	2	8, 1	0	13, 5	0	9, 1	0
T_1	1	10, 3	0	9, 7	0	8, 4	0
Таблица PT_3							
T_3	3	12, 6	1	14, 4	1	10, 5	0
T_5	5	9, 2	0	10, 6	1	14, 3	1
T_2	2	8, 1	0	13, 5	0	9, 1	0
T_1	1	10, 3	0	9, 7	0	8, 4	0
T_7	7	14, 5	1	12, 2	0	11, 6	1
T_4	4	11, 7	0	8, 3	0	13, 2	0

б) в соответствии с местоположением единиц в строке A_1 подозреваются в отказе абонент 6 и коммутатор 14.

Число компонентов, показанных в п. б) как подозреваемые в отказе, не превышает их числа в оценке (2), что свидетельствует о достоверности полученного диагноза. Заменив абонент 6 и коммутатор 14 на исправные и повторив процесс диагностирования, получим подтверждение исправности восстановленной системы.

Несколько слов о причинах ошибочного диагноза во время первого запуска.

1. Абонент 4 входит в проверяемые подсистемы (8, 4) и (14, 4), в которые входят отказавшие коммутаторы 8 и 14 соответственно, отсюда единичные оценки результатов их проверок. В табл. 1 можно найти исправную подсистему (13, 4), нулевая оценка проверки которой позволила бы исключить абонент 4 из числа подозреваемых.

Но проверка (6 → 13, 4) не выполнялась, так как абонент 6 попал в число подозреваемых и ему не передавалось управление для выполнения функций проверяющего абонента.

2. Похожая ситуация и с коммутатором 11, который на проверке (7 → 11, 6) получает единичную оценку из-за отказавшего абонента 6. Что же касается исправных подсистем (11, 1) и (11, 7), то они не проверялись из-за подозреваемых в отказе абонентов 6 и 4.

3. В строке 9 табл. 2 в диагнозе в числе подозреваемых в отказе показан исправный абонент 6. Причина та же: абонент 6 входит в проверяемые подсистемы (10, 6), (11, 6) и (12, 6), в состав кото-

рых входят отказавшие коммутаторы 10, 11 и 12 (для ситуации в строке 9) соответственно, отсюда единичные оценки результатов их проверок. Так как в табл. 1 для каждого компонента есть три проверки, то нет других проверок, в которые абонент 6 входил бы с другим, исправным коммутатором. Поэтому при отказе коммутаторов 10, 11 и 12 абонент 6 всегда будет в числе подозреваемых в отказе. Так в строке 16 табл. 2 рассматривается отказовая ситуация (3, 10, 11, 12), показано, что к диагнозу из 14-й строки (для отказавших 10, 11, 12) добавляется абонент 3.

Как видно из этих примеров, отказ абонентов сокращает число возможных проверок для коммутаторов, в том числе исправных, что приводит к ошибочным диагнозам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния компонентов (абонентов и коммутаторов) цифровых систем с новой структурой — минимального квазиполного графа размера 7×7 . Оценки диагностируемости анализируемых цифровых систем получены обобщением результатов диагностирования отказовых ситуаций различной кратности в системе из 7 абонентов и 7 коммутаторов. Показано, что на выбранной системе тестов анализируемые системы являются не больше чем 1-диагностируемыми (без ремонта) для отказавших абонентов, 2-диагностируемыми — для отказавших коммутаторов и 1,1-диагностируемыми — для кратного отказа абонента и коммутатора. Показано, что при отказе двух абонентов соединяющий их исправный коммутатор будет исключен из числа подозреваемых в отказе, если в диагностическом тесте есть соответствующая проверка. Для исключения всех подобных ситуаций в рассматриваемой системе диагностический тест должен включать в себя 42 такие проверки.

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 6.11.2014).
2. *Ведешенков В.А.* Организация диагностирования цифровых систем со структурой симметричного двудольного графа // Проблемы управления. — 2009. — № 6. — С. 59—67.
3. *Ведешенков В.А., Лебедев В.Н.* Мультиагентная организация системного диагностирования больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки // Автоматика и телемеханика. — 2008. — № 2. — С. 35—39.
4. *Barsi F., Grandoni F., Maestrini P.* A theory of diagnosability of digital systems // IEEE Trans. Comput. — 1976. — Vol. C-25, N 6. — P. 585—593.
5. *Ведешенков В.А.* Путевой метод самодиагностирования цифровых систем // Автоматика и телемеханика. — 2005. — № 3. — С. 154—168.
6. *Пархоменко П.П.* Определение технического состояния многопроцессорных вычислительных систем путем анализа графа синдромов // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 5. — С. 126—134.
7. *Preparata F.P., Metzger G., Chien R.T.* On the connection assignment problem of diagnosable systems // IEEE Trans. Electr. Comput. — 1967. — Vol. 16, N 6. — P. 848—854.
8. *Ведешенков В.А.* Способ оценивания диагностируемости цифровых систем со структурой симметричного двудольного графа // Тр. XXI междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем», Москва, декабрь 2013 г. — М., 2013. — С. 276—279.

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

Ведешенков Виктор Алексеевич — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-75-90, ✉ vva@ipu.ru,

Курако Евгений Александрович — науч. сотрудник, ☎ (495) 334-75-90, ✉ kea@ipu.ru,

Лебедев Виталий Николаевич — канд. техн. наук, зав. лабораторией, ☎ (495) 334-92-81, ✉ lebvini@ipu.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

Новая книга

Горбанева О.И., Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Моделирование коррупции в иерархических системах управления: монография. — Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2014. — 412 с. (ISBN 978-5-9905703-6-8).

Представлена авторская концепция математического моделирования коррупции в иерархических системах управления. Сформулированы основные положения концепции. Построены и исследованы теоретические модели административной и экономической коррупции в статических и динамических постановках, а также прикладные модели управления организационными и эколого-экономическими системами в условиях коррупции.

Для специалистов по прикладной математике, математической экономике и организационному управлению, аспирантов и студентов соответствующих специальностей, а также сотрудников органов государственного управления.