



ПОДХОД К ФРАГМЕНТНОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА (НА ПРИМЕРЕ ГРАФА РАЗМЕРА 7×7)

В.А. Ведешенков

Разработан вариант подхода к диагностированию, согласно которому исправный диагностический монитор (ДМ) проверяет по одному семь абонентов цифровой системы. После ремонта обнаруженных неисправных абонентов ДМ поочередно проверяет семь фрагментов, каждый из которых включает в себя коммутатор и четыре линии связи. Далее ДМ раскодирует полученный синдром проверок, передает диагноз обслуживающему персоналу для ремонта неисправных компонентов. Диагностический тест каждого фрагмента состоит из шести проверок и не зависит от числа абонентов и коммутаторов в цифровой системе.

Ключевые слова: цифровая система, абонент, коммутатор, линия связи, фрагментное диагностирование, раскодирование.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе под цифровыми системами (ЦС) понимаются модели многомашинных или многопроцессорных вычислительных систем, отражающие необходимые диагностические свойства и параметры анализируемых вычислительных систем. Анализируются ЦС со структурой минимального квазиполного графа (на примере графа размера 7×7).

Минимальный квазиполный граф образуется на основе однородного двудольного графа, одну долю которого составляют коммутаторы $m \times m$, а другую — m -портовые абоненты. Значение m выбирается минимальным, при котором любые два узла в одной доле связаны σ путями длины два через разные узлы в другой доле. В одной доле имеется n коммутаторов, а в другой — n абонентов. Каждый такой путь проходит через один коммутатор, и разные пути проходят через разные коммутаторы. Для рассматриваемых топологий параметры n и m связаны соотношением $n = m(m - 1)/\sigma + 1$ и не могут быть взяты произвольно [1, 2]. Пример такого графа размера 7×7 с двумя путями между

любой парой абонентов приведен на рисунке для $n = 7$, $m = 4$, $\sigma = 2$.

В числе возможных областей применения графов с подобной структурой называют отказоустойчивые многомашинные вычислительные системы реального времени, где, например, подмножество вершин одной доли представляет совокупность процессорных элементов или вычислительных машин, а подмножество вершин другой доли — коммутаторы [3, 4].

Задачи диагностирования ЦС со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между любой парой абонентов рассматривались в работах [5–7]. Особенность исследованных ЦС состоит в наличии у каждого коммутатора четырех входных и четырех выходных линий связи, соединяющих его с четырьмя соответствующими абонентами. Проведенные исследования показали, что результаты диагностирования компонентов анализируемых ЦС зависят от ряда факторов:

— структурных особенностей анализируемой ЦС, в частности, от параметра m — числа портов абонентов;

— полноты диагностического теста относительно числа и видов обнаруживаемых неисправных компонентов;

— выбранного метода диагностирования;

— выбранного метода раскодирования результатов выполненных проверок.

Экспериментально установлено, что выбранные (и представленные в статьях [5, 6]) таблица проверок, методы диагностирования и раскодирования гарантируют в рассматриваемой ЦС достоверное правильное однократное (без ремонта) диагностирование не больше:

— двух неисправных абонентов и двух неисправных коммутаторов при исправном состоянии всех линий связи или

— одного неисправного абонента и трех неисправных коммутаторов при исправном состоянии всех линий связи или

— двух неисправных линий связи при исправном состоянии всех абонентов и коммутаторов.

Среди основных причин, влияющих на оценки результатов выполненных проверок, следует выделить такие:

— диагностический тест построен для идентификации неисправных компонентов всей ЦС;

— уменьшение числа выполняемых проверок того или иного компонента (по сравнению с числом потенциально возможных), если проверяющий абонент, предназначенный для контроля состояния проверяемой подсистемы, в которую входит данный компонент, неисправен или подозревается в неисправности.

В настоящей статье предлагается другой подход к диагностированию неисправных компонентов ЦС со структурой минимального квазиполного графа, позволяющий благодаря более активному использованию диагностического монитора увеличить число достоверно идентифицируемых неисправных компонентов.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходная многомашинная вычислительная система со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между любой парой абонентов представлена диагностическим графом, у которого n вершин одной доли представляют абоненты (процессоры) системы, n вершин другой доли — коммутаторы, на рисунке каждый абонент связан с каждым другим абонентом двумя линиями связи, проходящими через два разных коммутатора.

Будем считать, что допускаются устойчивые кратные отказы абонентов, коммутаторов, линий связи, причем неисправности компонентов таковы, что прекращают работу тех компонентов, в которых они возникли, и не влияют на работоспособ-

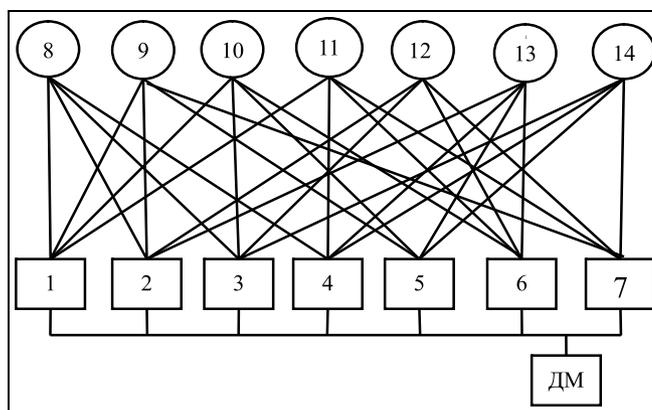


Схема цифровой системы со структурой минимального квазиполного графа $S_{7,4,2}$:

1—7 — абоненты; 8—14 — коммутаторы; ДМ — диагностический монитор

ность смежных компонентов. Будем считать также, что из-за конструктивных ограничений в данной ЦС входная и выходная линия связи используют общий (один) провод (аналог полудуплексного режима). В этом случае требуется диагностировать с точностью до одной двунаправленной линии связи между абонентом и коммутатором.

Организацией процессов диагностирования различных компонентов ЦС и обработкой полученных результатов занимается исправный ДМ, который находится во внешнем модуле, имеющем доступ к каждому абоненту.

Требуется разработать подход к диагностированию (с ремонтом) неисправных компонентов анализируемой ЦС, обеспечивающий достоверную идентификацию хотя бы одного неисправного компонента.

2. ПОДХОД К ФРАГМЕНТНОМУ ДИАГНОСТИРОВАНИЮ НЕИСПРАВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА РАЗМЕРА 7×7

Один из перспективных способов увеличения числа достоверно диагностируемых неисправных компонентов заключается в применении подхода к фрагментному диагностированию ЦС, в соответствии с которым идентифицированные неисправные компоненты заменяются на исправные и активно используются возможности исправного ДМ, имеющего доступ к каждому абоненту. Исследования вариантов данного подхода показали, что для исключения неоднозначных диагнозов неисправных абонентов и примыкающих линий связи необходимо разделить во времени процедуры диагностирования этих компонентов.

Для реализации такого подхода разделим процесс диагностирования ЦС на два этапа: проверка



абонентов и проверка фрагментов, включающих в себя один коммутатор и четыре линии связи. Для проверки работоспособности компонента с предполагаемым характером функционирования (работа — отказ) со стороны проверяющего модуля достаточно послать к нему запрос, на который проверяемый компонент должен дать ответ в течение заданного интервала времени Δt . Отсутствие ответа в течение интервала Δt служит признаком проявления (обнаружения) неисправности компонента.

На первом этапе ДМ посылает очередному абоненту A_j , $j = 1, \dots, 7$, запрос о его состоянии. Если абонент A_j исправен, то он отправляет ответ ДМ, который фиксирует оценку $r_j = 0$. Если в течение интервала Δt ответ не придет, то ДМ фиксирует оценку $r_j = 1$. Поскольку каждый абонент проверяется по одиночке, то фиксируемая оценка ($r_j = 0$ или 1) однозначно определяет техническое состояние проверенного абонента: исправен или нет. После проверки всех абонентов ДМ передает полученные оценки обслуживающему персоналу для замены на исправные тех абонентов, для которых получены оценки $r_j = 1$.

Второй этап состоит из семи подэтапов. На каждом из них ДМ с помощью исправных абонентов проверяет очередной фрагмент системы, включающий в себя коммутатор и присоединенные к нему четыре линии связи. Поскольку разные фрагменты ЦС могут иметь контакты только через общих абонентов, то в дальнейшем будем рассматривать унифицированный фрагмент: номера 1, 2, 3, 4 присвоим линиям связи, соединяющим коммутатор 5 с соответствующими внешними абонентами. Для применения полученных далее результатов к конкретным фрагментам ЦС необходимо заменить эти унифицированные номера на номера коммутатора и линий связи рассматриваемого фрагмента. В табл. 1 показана такая замена для фрагмента, включающего в себя коммутатор 8 и линии связи, соединяющие его с абонентами 1, 2, 3, 4.

Техническое состояние унифицированного фрагмента диагностируется ДМ с помощью шести проверок, показанных в табл. 2. В столбце «Проверяемые подсистемы $U_{j,i,k}$ » для абонента A_j , $j = 1, 2, 3, 4$, записаны номера коммутатора 5 и линий связи, входящих в состав подсистем $U_{j,i,k}$, проверяемых абонентом A_j . Исправные абоненты A_j и A_k вынесены в отдельные столбцы.

Шесть проверок (см. табл. 2), образуют полный тест для контроля исправности шести путей, которые возможны между любой парой из четырех абонентов, проверяющих фрагмент, состоящий из коммутатора 5 и четырех прилегающих линий свя-

зи. Возвращаясь к параметрам фрагмента, можно написать, что полный тест в табл. 2 включает в себя P проверок, где $P = m(m-1)/2$.

Каждая проверка выполняется следующим образом. Очередному абоненту A_j ДМ передает команду «Переслать абоненту A_k через коммутатор c_i сообщение о проверке $p_{j,i,k}$ ». Абонент A_k , получив такое сообщение, подтверждает его получение диагностическому монитору, который заносит в клетку столбца «Оценка $r_{j,i,k}$ » оценку 0. Если в течение интервала Δt такого подтверждения от абонента A_k не приходит, то ДМ заносит в эту же клетку оценку 1. После записи в клетку оценки 0 или 1 ДМ передает следующему абоненту A_j из табл. 2 сообщение о необходимости выполнения очередной проверки. Такие действия выполняются для всех проверок (см. табл. 2). Это возможно, так как после выполнения первого этапа все абоненты исправны (возможно, после замены обнаруженных неисправных абонентов).

После выполнения всех шести проверок в столбце «Оценка $r_{j,i,k}$ » будет записан шестиразрядный синдром проверок R_x , раскодирование которого даст диагноз — номера неисправных и исправных компонентов анализируемого фрагмента.

Для раскодирования результатов проверок и формирования диагноза воспользуемся алгебрологическим методом [7]. Напомним его основные положения.

А. Компонент с номером s может быть в двух состояниях: исправен — неисправен, закодируем

Таблица 1

Таблица соответствия для коммутатора 8

Номер компонента в унифицированном фрагменте	Линии связи
1	(1-8), (8-1)
2	(2-8), (8-2)
3	(3-8), (8-3)
4	(4-8), (8-4)

Таблица 2

Унифицированная таблица проверок

№ п/п	Проверка $p_{j,i,k}$	Абонент A_j	Проверяемые подсистемы $U_{j,i,k}$	Абонент A_k	Оценка $r_{j,i,k}$
1	$p_{1,5,2}$	A_1	1, 5, 2	A_2	
2	$p_{2,5,3}$	A_2	2, 5, 3	A_3	
3	$p_{3,5,4}$	A_3	3, 5, 4	A_4	
4	$p_{4,5,1}$	A_4	4, 5, 1	A_1	
5	$p_{1,5,3}$	A_1	1, 5, 3	A_3	
6	$p_{2,5,4}$	A_2	2, 5, 4	A_4	

эти состояния булевой переменной s (совпадающей с номером компонента s — для упрощения последующих преобразований), принимающей значение \bar{s} для исправного компонента и значение s для неисправного компонента.

Функцию технического состояния компонентов с номерами $1, 2, \dots, k$ запишем так:

$\bar{F}_j = \bar{1} \cdot \bar{2} \cdot \dots \cdot \bar{k}$ — все компоненты исправны при нулевой оценке результата их проверки тестом p_j (оценка \bar{r}_j);

$F_j = 1 \vee 2 \vee \dots \vee k$ — хотя бы один из компонентов неисправен при единичной оценке результата их проверки тестом p_j (оценка r_j).

Б. Метод раскодирования оценок результатов тестирования на множестве проверок p_1, \dots, p_k состоит из следующих этапов.

1. Построить функцию $\bar{\Phi}$ как конъюнкцию всех функций \bar{F}_j , образованных для каждой оценки \bar{r}_j из синдрома проверок R_x .

2. Построить функцию Φ как конъюнкцию всех функций F_j , образованных для каждой оценки r_j из синдрома проверок R_x .

3. Конъюнкция $\Psi = \Phi \cap \bar{\Phi}$ после преобразований и упрощений содержит дизъюнктивные члены, каждый из которых определяет подмножество исправных и неисправных компонентов, синдром проверки которых совпадает с R_x .

4. Упростить отдельные функции F_j , вычеркнув те переменные, для которых в функции $\bar{\Phi}$ есть одноименные переменные с отрицанием (с чертой сверху).

5. Произвести конъюнктивное перемножение оставшихся членов функций F_j и функции $\bar{\Phi}$, вы-

полнить поглощение членов большей длины членами меньшей длины.

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

В табл. 3 приведены результаты диагностирования некоторых отказовых ситуаций, полученные с использованием проверок (см. табл. 2) для диагностирования четырех линий связи и коммутатора в одном фрагменте.

Покажем применение алгебрологического метода раскодирования результатов проверок компонентов на примере двух отказовых ситуаций N_5 и N_2 . (В целях сокращения объема текста некоторые из производимых операций будем опускать.)

Как видно из табл. 3, в отказовой ситуации N_5 неисправны компоненты $N_5 = 1, 5$. После выполнения шести проверок из табл. 2 получим синдром $R_5 = 1_1 1_2 1_3 1_4 1_5 1_6$, где номер проверки записан в качестве нижнего индекса полученной оценки: 1 или 0.

Функция состояния для данного синдрома имеет вид:

$$\Psi_5 = (1 \vee 5 \vee 2)(2 \vee 5 \vee 3)(3 \vee 5 \vee 4) \times \\ \times (4 \vee 5 \vee 1)(1 \vee 5 \vee 3)(2 \vee 5 \vee 4),$$

после перемножения и сокращения подобных членов получим

$$\Psi_5 = 5 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 2 \cdot 4 \vee 1 \cdot 3 \cdot 4 \vee 2 \cdot 3 \cdot 4,$$

что и показано в строке 5 табл. 3.

В отказовой ситуации N_2 (табл. 3) неисправны компоненты $N_2 = 1, 2$. После выполнения шести проверок (см. табл. 2) получим синдром $R_2 = 1_1 1_2 0_3 1_4 1_5 1_6$.

Таблица 3

Таблица результатов диагностирования

N_k	Отказовая ситуация	Синдром проверок R_k	Диагноз	Примечание
1	1	$1_1 0_2 0_3 1_4 1_5 0_6$	$1 \cdot 2 \cdot \bar{4} \cdot \bar{5} \cdot \bar{3}$	Однозначный, неполный
2	1, 2	$1_1 1_2 0_3 1_4 1_5 1_6$	$1 \cdot 2 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} \cdot \bar{5}$	Однозначный, полный
3	1, 3	$1_1 1_2 1_3 1_4 1_5 0_6$	$1 \cdot 3 \cdot \bar{2} \cdot \bar{4} \cdot \bar{5}$	
4	1, 2, 3	$1_1 1_2 1_3 1_4 1_5 1_6$	$5 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 2 \cdot 4 \vee 1 \cdot 3 \cdot 4 \vee 2 \cdot 3 \cdot 4$	Неоднозначный, без общей части
5	1, 5	$1_1 1_2 1_3 1_4 1_5 1_6$	$5 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 2 \cdot 4 \vee 1 \cdot 3 \cdot 4 \vee 2 \cdot 3 \cdot 4$	
6	5	$1_1 1_2 1_3 1_4 1_5 1_6$	$5 \vee 1 \cdot 2 \cdot 3 \vee 1 \cdot 2 \cdot 4 \vee 1 \cdot 3 \cdot 4 \vee 2 \cdot 3 \cdot 4$	
7	1, 2	$1_1 1_2 0_3 1_4$	$1 \cdot 2 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} \cdot \bar{5}$	Однозначный, полный
8	1, 3	$1_1 1_2 1_3 1_4$	$5 \vee 1 \cdot 3 \vee 2 \cdot 4$	Неоднозначный, без общей части



Функция состояния для данного синдрома имеет вид:

$$\Psi_2 = (1 \vee 5 \vee 2)(2 \vee 5 \vee 3) \cdot \bar{3} \cdot \bar{5} \cdot \bar{4} \times \\ \times (3 \vee 5 \vee 4)(4 \vee 5 \vee 1)(1 \vee 5 \vee 3)(2 \vee 5 \vee 4),$$

после перемножения и сокращения подобных членов получим $\Psi_2 = 1 \cdot 2 \cdot \bar{3} \cdot \bar{4} \cdot \bar{5}$, что и показано в клетке «Диагноз» строки 2 табл. 3.

Анализ записей (см. табл. 3) позволяет сделать ряд выводов.

- Диагноз, полученный для ситуаций N_4 , N_5 и N_6 , одинаков потому, что одинаков синдром проверок для этих ситуаций: он содержит только единицы. В результате раскодирования такого единичного синдрома получается неоднозначный диагноз (функция Ψ_3), содержащий пять вариантов без обшей части:

- неисправен коммутатор 5,
- или четыре комбинации трех неисправных из четырех линий связи.

Логическая причина такой неоднозначности заключается в том, что синдром проверки кратной неисправности образуется дизъюнкцией синдромов проверки одиночных неисправных компонентов, входящих в состав кратной неисправности. Поскольку синдром проверки неисправного коммутатора единичный (строка 6 в табл. 3), то дизъюнктивное добавление синдромов проверки любых других неисправных компонентов (например, компонента 1 в строке 5) не может изменить единичный синдром коммутатора. Более того, единичный синдром проверки может сформироваться и без участия коммутатора 5 (что показано для кратной неисправности компонентов 1, 2, 3 в строке 4 табл. 3); в результате получается тот же неоднозначный диагноз, как и в строке 6, одним из пяти слагаемых которого является правильный диагноз (неисправность компонентов 1, 2, 3).

Физической причиной подобной неоднозначности является использование коммутатора 5 во всех шести проверках (см. табл. 2), что не позволяет различить неисправность коммутатора от кратных неисправностей других компонентов фрагмента. К сожалению, в данной структуре фрагмента нельзя построить проверки линий связи без соединяющего их коммутатора. Это неизбежное следствие древовидной структуры фрагмента, не имеющего точек разветвления между коммутатором и линиями связи.

- Для получения более определенного диагноза синдром проверок должен иметь одну или несколько нулевых оценок. Действительно, нулевую оценку получит результат проверки, в которой контролируется состояние исправного коммутатора и двух исправных линий связи. При раскодировании синдрома для каждой нулевой оценки будут построены соответствующие функции состояния

\bar{F}_j , которые подтвердят исправность коммутатора и двух соответствующих линий связи, что устранил возможность неоднозначных вариантов диагноза. Как видно из отказовых ситуаций в строках 1, 2, 3, 7 (см. табл. 3), наличие нулей в синдромах их проверок приводит к однозначному диагнозу для этих ситуаций.

- В строках 2, 7 и 3, 8 показаны результаты диагноза для отказовых ситуаций (1, 2) и (1, 3) соответственно. Различие заключается в числе проверок из табл. 2. В строках 2, 3 использованы шесть проверок из табл. 2, а в строках 7, 8 — только первые четыре проверки. Различие синдромов для первых четырех проверок в ситуациях 3 и 8 приводит к различию диагноза. Этот пример показывает необходимость использования более полных диагностических тестов, чтобы получить нулевые оценки результатов выполнения отдельных проверок.

- Наличие в синдроме нескольких нулевых оценок не влияет на однозначность диагноза, но может оставить неопределенным состояние некоторых компонентов. Так, в строке 1 синдром имеет три нулевые оценки, что определило неполный диагноз: компонент 3 оказался вне результата диагноза, что отмечено тильдой (\sim) над цифрой 3.

- Результаты диагностирования некоторых отказовых ситуаций, показанные в табл. 3, позволяют утверждать, что предложенные процедуры рассматриваемого подхода обеспечивают достоверное диагностирование:

- от одного до семи неисправных абонентов;
- до двух неисправных линий связи при исправном коммутаторе каждого фрагмента;
- неисправного коммутатора при неисправности одной или двух линий связи каждого фрагмента.

Сравнение этих цифр со значениями диагностируемости для всей ЦС, приведенными во Введении, показывает преимущества данного подхода при диагностировании ЦС с большим числом неисправных компонентов. Такое свойство представляется полезным при диагностировании вновь созданной ЦС или после большого перерыва в функционировании по назначению.

3. О ВОССТАНОВЛЕНИИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ МИНИМАЛЬНОГО КВАЗИПОЛНОГО ГРАФА РАЗМЕРА 7×7

Результаты диагностирования ряда отказовых ситуаций (см. табл. 3), можно объединить в две группы:

- 1) диагноз однозначный, полный или неполный;
- 2) диагноз неоднозначный, без обшей части.

Диагнозы первой группы удовлетворяют требованиям постановки задачи: правильно идентифи-

цированы один или два неисправных компонента. При таких диагнозах обслуживающий персонал должен заменить исправными компоненты, подозреваемые в неисправности, и повторить диагностику для подтверждения исправности восстановленного фрагмента.

Диагнозы второй группы не позволяют достоверно идентифицировать хотя бы один неисправный компонент. В связи с этим предлагается довольно очевидный вариант выхода из подобных ситуаций: заменить коммутатор исправным, повторить выполнение проверок из табл. 2, при этом возможны два исхода:

- синдром проверок R изменился, его раскодирование может дать более определенный диагноз;
- синдром проверок R не изменился, так как коммутатор был исправен, в таком случае заменить на исправные две линии связи из четырех, повторить выполнение проверок из табл. 2.

Даже если у данного фрагмента были неисправны все четыре линии связи, то после замены на исправные двух линий связи, в нем останется две неисправные линии связи. Записи строк 2 и 3 в табл. 3 показывают, что при использовании шести проверок результирующий синдром двух неисправных линий связи имеет одну нулевую оценку, что дает однозначный и полный диагноз.

В качестве примера, показывающего возможные ошибки данного варианта действий, вернемся к табл. 3. Записи строки 4 показывают неоднозначный диагноз без общей части. Если для данной ситуации считать подозреваемым в неисправности коммутатор 5 (наименьшее подмножество компонентов), то такое решение окажется ошибочным, так как правильным диагнозом является кратная неисправность компонентов 1, 2 и 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный подход к фрагментному диагностированию для ЦС со структурой минимального квазиполного графа (на примере графа размера 7×7) состоит из проверок и восстановления: сначала семи абонентов, затем семи фрагментов, состоящих из коммутатора и четырех прилегающих к нему линий связи. Диагностические тесты, используемые для проверок каждой из этих составляющих ЦС, определяются только совокупностью проверяемых компонентов и не зависят от числа других компонентов ЦС. Основным параметром, влияющим на объем необходимых проверок для каждого фрагмента, служит значение m — число портов одного абонента. Число и продолжительность выполняемых процедур пропорциональны общему числу модулей n в одной доле. Что же касается параметра σ — числа путей между двумя абонентами, проходящих через σ коммутаторов, то этот параметр не влияет на процедуры проверок

одного фрагмента, так как пути проходят через разные коммутаторы.

Таким образом, можно заключить, что разработанный подход к диагностированию неисправных компонентов цифровых систем со структурой минимального квазиполного графа (на примере графа размера 7×7) представляет собой теоретические основы достоверного диагностирования большого числа неисправных компонентов в ЦС рассматриваемой структуры. Возможно, разработанный подход окажется полезным при диагностировании вновь созданных ЦС, построенных на элементной базе невысокой степени интеграции.

Дело в том, что представленный подход к фрагментному диагностированию ЦС рассматриваемой структуры требует участия обслуживающего персонала в замене неисправных компонентов и не может быть реализован в электронных системах, построенных на современной элементной базе. Для восстановления работоспособности подобных электронных систем нужны другие подходы, предусматривающие автоматическое устранение влияния неисправных компонентов.

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. *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).
4. *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.ieee-computersociety.org/10.1109/HOTI.2010.23> (дата обращения 26.10.2015).
5. *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.
6. *Ведешенков В.А., Курако Е.А., Лебедев В.Н.* О диагностируемости компонентов цифровых систем со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с 2 путями между 2 абонентами // Управление большими системами. — 2015. — Вып. 58. — URL: <http://ubs.mtas.ru/upload/library/UBS5804.pdf> (дата обращения 13.09.2016).
7. *Ведешенков В.А.* Организация диагностирования одиночных неисправных компонентов цифровых систем со структурой минимального квазиполного графа размера 7×7 с двумя путями между двумя абонентами // Проблемы управления. — 2016. — № 1. — С. 65—72.

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.