

СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНИИ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 681.518.5

ЧЕРНОУСОВА НАТАЛИЯ ЛЕОНИДОВНА

**РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ КРОСС-ДИАГНОСТИКОМ
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Специальность: 05.13.01 - Управление в технических
системах**

А В . О Р Е О Б Р А Т

**ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

Севастополь

1994



00778841 (Z)

Робота виконана в Севастопольському інституті.

Научний керівник - кандидат технічних наук,

доцент Киришин В.В.

Офіційальні опоненти - доктор технічних наук

Гайский В.А.,

кандидат технічних наук

Сагомонін С.В.

Ведуче підприємство - приборостроительний завод "Ларис"

г. Севастополь

Захист дисертації состоится "-----" ----- 1994 г. в

часов на засіданні спеціалізованого комітету Д 17.05.01

при Севастопольському приборостроительному інституті по адресу:

335053, Севастополь, Стрелецька бухта, Студгородок;

С дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Севастопольського приборостроительного інституту.

Автореферат розослан

1994 г.

Учений секретар

спеціалізованого комітету,

кандидат технічних наук

А.Н. Чельчевський

ЛНБ ім. В. Стефаніка

АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Развитие микроэлектронной технологии, высокие требования по надежности, расширяющиеся функциональные возможности вычислительной техники, а также уменьшение стоимости/производительности при применении параллельно работающих компьютеров привели к созданию новых архитектур технических систем - систем с распределенной структурой. Непременной составляющей технических распределенных систем (ТРС), компонентами которых могут функционировать асинхронно, является распределенная система управления (РСУ), обеспечивающая взаимодействие основных компонентов ТРС.

РСУ представляет собой совокупность технического, программного, информационного обеспечения и оперативного персонала, взаимодействие которых на различных уровнях управления, регламентируемое организационным обеспечением, реализует управление функциональными процессами в соответствии с заданными критериями управления. При этом на оперативно-диспетчерском уровне управления осуществляется координация работы модулей, входящих в состав ТРС, и управление потоком информации. При решении задач оперативно-диспетчерского уровня прежде всего требуется обеспечить высокую надежность административных функций РСУ. Одним из средств обеспечения надежности функционирования ТРС является использование в процессе эксплуатации средств диагностики, являющихся составной частью как технической, так и общепрограммного обеспечения РСУ. При этом используются методы тестирования отказоустойчивых систем, основанные на обобщении и исследовании неисправных функциональных модулей с их

последующим ремонтом или заменой на некоторого резерва. Функционирование ТРС в общем случае разбивается на этап диагностики и рабочий этап. Стремление уменьшить стоимостные затраты на обеспечение надежности функционирования ТРС послужило причиной создания так называемого метода управления кросс-диагностикой, позволяющего по результатам взаимного тестирования компонентов определить их состояние.

Наиболее перспективным направлением кросс-диагностики в настоящее время считается разработка адаптивных алгоритмов управления, позволяющих локализовать неисправные компоненты с точностью до отдельного модуля. При этом возникает задача уменьшения длительности соответствующих процедур управления кросс-диагностикой.

Разработка адаптивных алгоритмов управления кросс-диагностикой с последующей оценкой их эффективности является, таким образом, актуальной в теоретическом и практическом отношении проблемой, решение которой позволяет повысить эффективность функционирования современных ТРС.

Ц е л ь р а б о т ы - уменьшение длительности кросс-диагностики ТРС на базе разработки адаптивных алгоритмов управления с учетом затрат на их реализацию.

М е т о д ы и с с л е д о в а н и я. Для решения задачи разработки адаптивных алгоритмов управления кросс-диагностикой применен аппарат булевой алгебры. При разработке методики оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой в качестве математической базы методов исследования использо-

вался аппарат теории вероятностей и математической статистики. Исследование качества полученных результатов проводилось методами имитационного моделирования на ЭВМ.

Научная новизна полученных результатов заключается в следующем.

1. Предложены адаптивные процедуры управления кросс-диагносткой ТРС, организованной в виде взаимодействующих параллельных процессов, при симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов, отличающиеся от известных использованием промежуточных результатов диагностики пар компонентов ТРС, позволяющие определить отказы компонентов с точностью до отдельного модуля при полном тестировании с учетом длительности процедур и затрат на их реализацию.

2. В настоящей работе впервые предлагается методика определения эффективности процедур управления кросс-диагносткой, позволяющая получать оценки по двум критериям: средней продолжительности процедуры и среднего объема тестовой информации в расчете на одну компоненту.

Практическая ценность работы состоит в следующем.

1. Разработаны программные модули, в основе которых положены предлагаемые симметричные и асимметричные алгоритмы управления кросс-диагносткой, для включения их в комплекс программ по обеспечению надежности функционирования ТРС.

2. Разработана программа системы оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагносткой, позволяющая опреде-

лить такие показатели эффективности как средняя длительность реализации и средний объем необходимой тестовой информации в расчете на одну компоненту. Представленная система оценки эффективности может быть использована не только для оценки эффективности предлагаемых процедур управления кросс-связностью, но и для оценки известных процедур управления кросс-связностью.

Работы выполнены в составе НИИ подразделения кибернетики и вычислительной техники Севастопольского приборостроительного института "Алгоритмы контроля и диагностики отказов на сетях случайной связи" номер "Диагноз-СП", х/дог. № 1216, "Алгоритмы повышения надежности и эффективности функционирования сетей случайной связи", номер "Диагноз-СП-В", х/дог. № 1239 и "Исследование и разработка методов контроля, тестирования, диагностики и оптимизации подвижных сетевых систем", номер "Трумень-ИС-СП", х/дог. № 1240.

А п р о б а ц и я р е з у л ь т а т о в р а б о т ы.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на III научной конференции по обеспечению надежности функционирования вычислительных систем и сетей (г. Севастополь, 1990г.); конференциях профессорско-преподавательского состава СПИ, семинарах "Техническое и программное обеспечение ЭВМ, систем и сетей" Института кибернетики АН Украины (Севастопольское отделение), г. Севастополь, 1990-1994 г.

По результатам выполненных исследований опубликовано 5 работ.

Структура и объем диссертации ..

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка литературы из 70 наименований. Основная часть работы изложена на 102 страницах машинописного текста и содержит 11 рисунков и 7 таблиц.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Адаптивные процедуры управления кросс-диагностикой при симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов, позволяющие с точностью до отдельной модули определить неисправные компоненты ТРС при полном тестировании системы.

2. Методика оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС, позволяющие определить такие показатели, как средняя длительность реализации кросс-диагностики и средний объем тестовой информации в расчете на одну неисправность.

3. Программная система исследования функционирования кросс-диагностических ТРС, включающая в себя программную реализацию предлагаемых алгоритмов управления для использования комплекса программ по обеспечению надежности функционирования ТРС; программу оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой; имитационную модель функционирования ТРС с учетом отказов.

СЪЕДИНЕНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и приве-

ден перечень вопросов, исследования которых посвящена диссертация.

В первой главе проведен анализ современных методов и средств повышения надежности функционирования ТРС, одним из которых является использование процедур управления кросс-диагностикой ТРС. В разделе 1.2. осуществлена классификация методов управления кросс-диагностикой по пяти классификационным признакам. В разделе 1.3. выполнен обзор методик управления кросс-диагностикой ТРС, в заключении которого сделаны следующие выводы. В настоящее время существует ни один класс математических моделей управления кросс-диагностикой, основанных на базе теории графов. В системах с перемежающимися неисправностями никакая из рассмотренных методик управления не может обеспечить всегда правильную и избыточную диагностику, так и модуль с непостоянной неисправностью может не проявить ее за время диагностики. Более того, применение таких моделей накладывает ряд существенных требований к условиям реализации, что приводит к увеличению числа проверок. Такое же увеличение числа проверок имеет место при реализации методик, учитывающих неполноту тестов. По-видимому, проблема неполноты тестов должна решаться скорее всего не на уровне системной диагностики, а на уровне технической диагностики. Что касается симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов, то, в асимметричных процедурах наблюдается значительное уменьшение вычислительной сложности, тем не менее, в системах с ультра-высокими требованиями к надежности необходимо использовать симметричную интерпретацию тестовых результатов, поэтому определенный интерес представляют и

те, и другие методики. Рассматривая различные методики уг-вления кросс-диагностикой в аспекте динамики поиска неисправностей, необходимо отметить общую тенденцию перехода в сторону адаптивных методик. На первый взгляд классические методики окажутся более эффективными с точки зрения длительности реализации, но они, как правило, не позволяют полностью точно локализовать все неисправные модули, а предложат либо частично, либо избыточную локализацию. Тем не менее, развитие ТРС при минимальном участии человека сдвигает требование инженера к точному определению состояния всех модулей системы. Именно этим объясняется возросший интерес к адаптивному поиску неисправных компонентов ТРС. При этом открытым остается вопрос уменьшения длительности процедуры управления кросс-диагностикой в адаптивных системах.

На основании анализа состояния проблемы разработки методик управления кросс-диагностикой как средства повышения надежности функционирования ТРС сформулированы в общей форме следующие решения в работе задачи.

1. Формализация постановки задачи кросс-диагностики ТРС.
2. Разработка адаптивных моделей управления кросс-диагностикой ТРС при симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов с использованием аппарата дискретной математики, булевой алгебры и теории графов. Разработка на базе полученных моделей алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС, обеспечивающих определение отказов компонентов точно - до отдельного модуля при полном тестировании системы.
3. Разработка методики оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС с использованием аппарата

теории вероятности. Предполагается с помощью этой методики определить соответствующие показатели эффективности как, разработанных в настоящей диссертационной работе, алгоритмов, так и аналогичных по классификационным признакам аптимальных алгоритмов управления кросс-диагностикой, с последующей относительной оценкой их эффективности.

1. Разработка на ЭВМ программной системы исследования функционирования кросс-диагностируемых ТРС, которая включает в себя программную реализацию предлагаемых алгоритмов управления кросс-диагностикой, программную подсистему оценки эффективности этих алгоритмов и имитационную модель функционирования ТРС с учетом отказов.

Во втором главѣ разрабатываются алгоритмы управления кросс-диагностикой ТРС при симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов. В первом параграфе осуществлена формализация постановки задачи управления кросс-диагностикой, введены основные понятия и определения, которые используются при представлении соответствующих алгоритмов, а также рассмотрены основные условия реализации кросс-диагностики.

ТРС представляется направленным диагностическим графом $D=(A, T)$, где $A=(A_1, A_2, \dots, A_m)$ - множество модулей (множество вершин), $T=(t_{ij}(i, j) \in \bar{1}, m)$ - бинарное отношение тестируемости (множество дуг). Каждая вершина представляет собой модуль, обладающий тестирующей способностью, т.е. каждая вершина может осуществлять диагностику любой другой вершины. Наличие дуги t_{ij} соответствует диагностике вершины A_j вершиной A_i . В графе отсутствуют кратные дуги и петли, т.е. каждый не со-

тестируемы, и каждому тесту соответствует только одна дуга в диграфе D .

Под односторонним тестом с исходом (k, i, j) подразумевается процесс диагностики модуля A_i модулем A_j , при котором A_j делает заключение о состоянии A_i : если модуль A_i идентифицирует модуль A_j как исправный, то $k=1$, в противном случае $k=0$. В свою очередь двусторонний тест - процедура, заключающаяся в том, что сначала модуль A_i тестирует модуль A_j , а затем модуль A_j тестирует модуль A_i . Исходом (φ, i, j) двустороннего теста называется соответствующая пара исходов односторонних тестов (k, i, j) и (ψ, j, i) , причем $\varphi = (0, 1, 2, 3)$ - код десятичного числа конкатенации k и ψ . Необходимо отметить, что в данной работе речь идет о полных тестах.

Процессорный модуль, соответствующий вершине подграфа, может находиться в одном из двух состояний: исправном или неисправном. При этом под неисправным состоянием процессорного модуля подразумевается наличие неисправности типа отказ. Считается, что если модуль A_i исправен, то исход одностороннего теста (k, i, j) верен. Если модуль A_i неисправен, то исход (k, i, j) может быть неверен, значение k при этом определяется типом модели диагностики (симметричной или асимметричной).

Одним из существенных допущений при разработке процедур выявления кросс-диагностикой является предположение о том, что число отказавших модулей за период рабочего этапа не превышает некоторого числа t , причем согласно фундаментальной теореме кросс-диагностики:

В результате кросс-диагностики необходимо идентифицировать множество неисправных модулей $A^* \subset A$.

В разделе 2.2. приводится описание математической модели управления кросс-диагностикой ТРС при симметричной и асимметричной интерпретации тестовых результатов. Учитывая фактор t -диагностики мости, граф $D = (A, T)$ ($A = N$) можно разбить на подграфы $D_t = (A_t, T_t)$ ($t = 1, \dots, d$), где: $|A_t| = 2t + 1$, $A_t = (A_{t1}, A_{t2}, \dots, A_{t2t+1})$ - множество модулей подграфа D_t , T_t - бинарное отношение тестируемости; и подграф $D_0 = (A_0, T_0)$, где $A_0 = (A_{01}, A_{02}, \dots, A_{0n})$ - множество модулей подграфа D_0 ($n = N/2$), T_0 - бинарное отношение тестируемости. Процесс кросс-диагностики осуществляется параллельно в подграфах D_t .

Для каждого модуля A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) определяется переменная состояния, принимающая значение $X_i = 1$ при исправном состоянии модуля, и $X_i = 0$ в противном случае. Тестируемость исправности неисправного модуля A определяется булевой переменной, принимающей значение $\Omega_k = 1$, если исход (k, i, j) верен; и $\Omega_k = 0$ в противном случае, при этом модуль A_i делает заключение, противоположное истинному состоянию модуля A_j . Исходу $(1, i, i)$ можно сопоставить булеву функцию $H_i(X_{i1}, X_{i2}, \Omega_k, \Omega_j)$, которая равна единице в том случае, когда реализуется исход $(1, i, i)$. Аналогичным образом исходу $(0, i, i)$ сопоставляется булева функция $H_0(X_{i1}, X_{i2}, \Omega_k, \Omega_j)$. Тогда при симметричной кросс-диагностике функции $H_i(X_{i1}, X_{i2}, \Omega_k, \Omega_j)$ и $H_0(X_{i1}, X_{i2}, \Omega_k, \Omega_j)$ в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) выглядят следующим образом:

$$N_1(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} X_{j_1} \vee \bar{X}_{i_1} A_{i_1} X_{j_1} \vee \bar{X}_{i_1} \bar{A}_{i_1} \bar{X}_{j_1} \quad (2)$$

$$N_0(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} \bar{X}_{j_1} \vee \bar{X}_{i_1} A_{i_1} \bar{X}_{j_1} \vee \bar{X}_{i_1} \bar{A}_{i_1} X_{j_1} \quad (3)$$

Из выражений (2) и (3) можно сделать заключение о том, что одностороннее тестирование не позволяет сделать однозначный вывод о состоянии модулей в паре $(A_{i_1}, A_{j_1}) \in T_{\epsilon}$.

Сопоставим двустороннему тесту с исходом $(\varphi, \ell_1, \ell_2)$ булеву функцию $N_1(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1})$, которая равна единице в том случае, когда реализуется исход $(\varphi, \ell_1, \ell_2)$. Тогда функции $N_0(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1})$ можно представить как конъюнкции булевых функций вида (2) и (3):

$$N_1(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = N_1(\varphi, X_{i_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) N_1(X_{j_1}, X_{i_1}, A_{j_1}, A_{i_1}), \quad (4)$$

$$N_2(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = N_1(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) N_0(X_{j_1}, X_{i_1}, A_{j_1}, A_{i_1}), \quad (5)$$

$$N_3(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = N_0(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) N_1(X_{j_1}, X_{i_1}, A_{j_1}, A_{i_1}), \quad (6)$$

$$N_4(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = N_0(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) N_0(X_{j_1}, X_{i_1}, A_{j_1}, A_{i_1}). \quad (7)$$

С учетом (2) и (3) функции (4)-(7) принимают вид:

$$N_1(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} X_{j_1} \vee X_{i_1} X_{j_1} A_{i_1} A_{j_1}, \quad (8)$$

$$N_2(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} X_{j_1} A_{i_1} \vee X_{i_1} X_{j_1} A_{i_1} A_{j_1}, \quad (9)$$

$$N_3(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} X_{j_1} A_{j_1} \vee X_{i_1} X_{j_1} A_{i_1} \bar{A}_{j_1}, \quad (10)$$

$$N_4(X_{i_1}, X_{j_1}, A_{i_1}, A_{j_1}) = X_{i_1} X_{j_1} A_{i_1} \vee X_{i_1} X_{j_1} A_{j_1} \vee \bar{X}_{i_1} \bar{X}_{j_1} A_{i_1} A_{j_1} \quad (11)$$

Из анализа выражений (9)-(10) следует, что при симметричной кросс-диа. остине двусторонний тест не способен идентифицировать состояние модулей в паре $(A_{i_1}, A_{j_1}) \in T_{\epsilon}$. Хотя в случае (9) и

выясняется, что $A_{ik} \in A'$, и, соответственно, в случае (10) $A_{ij} \in A'$, тем не менее их тестирующие способности остаются неопределенными, что не позволяет их в дальнейшем использовать в процессе кросс-диагностики. В представляемых моделях симметричной и асимметричной кросс-диагностики не предполагается использовать неисправные модули в качестве тестеров, хотя, возможно они и обладают способностью правильно тестировать другие модули. Поскольку при этом значения переменных A_{ik} и A_{ij} становятся несущественными, выражения (8)-(11) соответственно принимают вид функций:

$$u_2(X_{ik}, X_{ij}) = X_{ik} X_{ij} \vee \bar{X}_{ik} \bar{X}_{ij}, \quad (12)$$

$$u_3(X_{ik}, X_{ij}) = \bar{X}_{ik} \quad (13)$$

$$u_4(X_{ik}, X_{ij}) = \bar{X}_{ij} \quad (14)$$

$$u_5(\dots, X_{ij}) = \bar{X}_{ik} \vee \bar{X}_{ij} \quad (15)$$

Разобьем множество $A_{ij} = (A_{ij1}, A_{ij2}, \dots, A_{ijr})$ на подмножества непересекающихся пар модулей $(A_{ij}, A_{kj}) \in T_{ij}$, и проведем в них двусторонние тесты. По исходам двусторонних тестов строим на основании выражений (12)-(15) соответствующую систему булевых уравнений. Далее решаем систему булевых уравнений методом сведения к совершенной ДНФ с учетом неравенства (1) (параметр t определяет верхнюю границу числа переменных со знаком инверсии в каждой конъюнкции совершенной ДНФ). В результате получаем уравнение вида

$$u_{0 \dots r_k}(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ir}) = 1. \quad (16)$$

где

$$M_{m_1 \dots m_c}(X_{e_1}, \bar{X}_{e_1}, \dots, X_{e_c}) = \bigvee_{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_c} \delta_1 \delta_2 \dots \delta_c X_{e_i}^{\delta_i} \quad (17)$$

$$\delta_i = (0, 1), \quad i=1 \dots c, \quad X_{e_i}^{\delta_i} = \begin{cases} X_{e_i} & \text{при } \delta_i = 1 \\ \bar{X}_{e_i} & \text{при } \delta_i = 0 \end{cases}$$

Преобразуем выражение (17) к виду:

$$M_{m_1 \dots m_c}(X_{e_1}, \bar{X}_{e_1}, \dots, X_{e_c}) = \delta_1 X_{e_1} \delta_2 \bar{X}_{e_2} \dots \delta_u X_{e_u} \bigvee_{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_c} \delta_1 \delta_2 \dots \delta_c X_{e_i}^{\delta_i} \quad (18)$$

где $a, b \in (1, 2, \dots, \tau)$, $c, d, u, v \in (0, 1, 2, \dots, \tau)$, $X_{e_0}^{\delta_0} = 1$.

Тогда если $|A'| < t$, то модули $A_{e_0}, A \setminus A'$ можно использовать как тестеры для идентификации состояния модулей A_{e_i} . Если выражение (17) не преобразуется к виду (18), то процесс «кросс-диагностики» необходимо продлить, сформировав новые пары $(A_{e_i}, A_{e_j}) \in T_{e_i}$. По соответствующему исходу тестирования строится система булевых уравнений, которая далее сводится к совершенной ДИФ с учетом предыдущей совершенной ДИФ. Этот процесс длится до тех пор, пока не получается выражение вида (18).

После завершения процесса «кросс-диагностики» в подграфах D_{e_i} , если $|A'| < t$, необходимо провести одностороннее тестирование модулей подграфа D со стороны ближайших по связи модулей A_i подграфа D , $A_i \in A'$.

Асимметричная модель отличается от симметричной булевой функцией, соответствующей исходу $(1, \xi_1, \xi_2)$:

$$N_1(X_{\xi_1}, X_{\xi_2}, a_{\xi_1}, a_{\xi_2}) = X_{\xi_2} \quad (19)$$

Из выражения (19) следует, что исход $(1, \xi_1, \xi_2)$ однозначно определяет исправный модуль A_{ξ_2} , который можно использовать в дальнейшем как тестер. При исходе $(0, \xi_1, \xi_2)$, как следует из выражения (7), неопределенность состояний модулей A_{ξ_1} и A_{ξ_2} остается.

В свою очередь функции (12)-(14) при асимметричной кросс-диагностике с учетом (2, 19) принимают вид:

$$m_1(X_{\xi_1}, X_{\xi_2}) = X_{\xi_1} X_{\xi_2} \quad (20)$$

$$m_2(X_{\xi_1}, X_{\xi_2}) = \bar{X}_{\xi_1} X_{\xi_2} \quad (21)$$

$$m_3(X_{\xi_1}, X_{\xi_2}) = X_{\xi_1} \bar{X}_{\xi_2} \quad (22)$$

Из анализа выражений (20)-(22) следует, что двусторонний тест с исходом $(\eta, [\xi_1, \xi_2]) \neq (1, 2, 3)$ однозначно определяет состояние модулей A_{ξ_1} и A_{ξ_2} . Что касается исхода $(0, 1, 1)$, то, как следует из выражения (15), двусторонний тест не позволяет однозначно идентифицировать состояние модулей A_{ξ_1} и A_{ξ_2} .

Необходимо отметить, что асимметричная модель управления кросс-диагностикой ТРС отличается от симметричной только видом булевых функций, соответствующих исходам двусторонних тестов.

Таким образом, основная идея предлагаемых процедур управления симметричной и асимметричной кросс-диагностикой состоит в подтверждении на основании выражений, соответствующих исходам

двусторонних тестов, такой системы булевых выражений, решение которой была бы ДНФ, единичная жота бы по одной переменной X_i . Тогда модуль A_i , состояние которого характеризуется переменной X_i , можно в дальнейшем использовать в качестве тестера.

В параграфе 2.3. представлены алгоритмы управления симметричной и асимметричной кросс-диагностикой ТРС, базирующиеся на математической модели описанной в п.2.2. Алгоритмы приведены в виде последовательности основных шагов с соответствующими комментариями.

Ниже представляем симметричный алгоритм управления кросс-диагностикой ТРС:

- <0> Начало $A := (A_i), i = \{1, 2 \dots N\}$ /* Множество модулей графа D */
 - $A^1 := 0$ /* Подмножество неисправных модулей графа D */
 - $A^2 := 0$ /* Подмножество исправных модулей графа D */
 - $t = \text{const}$ /* Верхняя граница числа отказов их модулей в графе D за период рабочего этапа */
- <1> Разбиваем граф D на подграфы D_r и подграф D_s и определяем соответствующие подмножества модулей $A_i = (A_{ij})_{j=(1 \dots n)}$ $i=(1, 2 \dots r)$ и $A_s = (A_{sj})_{j=(1, 2 \dots n)}$, $r=2t+1, n=N \bmod(r)$, $n=(N-n)/r$.
- <2> Осуществляем процедуру кросс-диагностики параллельно в подграфах D_r (подмножествах A_r):
 - .2.1> $k=1$ /* показатель рекурсии */
 - <2.2> разбиваем подмножество A_r на подмножества непересекающихся пар $((A_{rk}, A_{rj}))$ и осуществляем в них двусторонний тест (ψ, ℓ_1, ℓ_2) ;
 - <2.3> сопоставляем каждому двустороннему тесту (ψ, ℓ_1, ℓ_2) ;

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

булеву функции следующим образом

если $\varphi=0$, то $w_0(X_{e_i}, X_{e_j}) = \bar{X}_{e_i} \vee \bar{X}_{e_j}$;

если $\varphi=1$, то $w_1(X_{e_i}, X_{e_j}) = \bar{X}_{e_j}$;

если $\varphi=2$, то $w_2(X_{e_i}, X_{e_j}) = \bar{X}_{e_i}$;

если $\varphi=3$, то $w_3(X_{e_i}, X_{e_j}) = X_{e_i} X_{e_j} \vee \bar{X}_{e_i} \bar{X}_{e_j}$;

<2.4> если $k=1$, то решаем систему булевых уравнений методом сведения к ДНФ; иначе решаем систему булевых уравнений методом сведения к ДНФ с учетом предыдущей рекурсии;

<2.5> если решением системы булевых уравнений является ДНФ, нулевая по переменной X_{e_i} , то $A1 = A1 \cup (A_{e_i})$,
 $A_e = A_e \setminus (A_{e_i})$, $A = A \setminus (A_{e_i})$;

<2.6> если решением системы булевых уравнений является ДНФ, единичная по переменной X_{e_i} , то $A2 = A2 \cup (A_{e_i})$,
 $A_e = A_e \setminus (A_{e_i})$, $A = A \setminus (A_{e_i})$; иначе $k=k+1$ и переход к <2.2>;

<2.7> если $|A1| < t$, то используем модули подмножества $A2$ в качестве тестеров для определения состояния модулей подмножества A_e .

<3> Если $|A1| < t$, то модули множества $A2$ используются в качестве тестеров для определения состояния модулей множества A_e .

Конец. $A1$ - множество отказавших модулей.

Идентификация множества $A1$ при асимметричной процедуре производится по алгоритму, который отличается от вышепредставленного внутренним содержанием блока <2.3>;

<2.3> сопоставяем тем каждому двустороннему тесту $(\varphi, \ell_1, \ell_2)$:

булеву функцию следующим образом

если $\varphi=0$, то $w_0(X_{e_i}, X_{e_j}) = \bar{X}_{e_i} \vee \bar{X}_{e_j}$;

если $\varphi=1$, то $w_1(X_{e_i}, X_{e_j}) = X_{e_i} \bar{X}_{e_j}$;

если $\psi = 2$, то $m_2(X_{ei}, X_{ej}) = \bar{X}_{ei} X_{ej}$;

если $\psi = 3$, то $m_2(X_{ei}, X_{ej}) = X_{ei} X_{ej}$.

Также во второй главе для пояснения работы алгоритмов приведен ряд примеров их реализации при конкретных значениях параметра верхней границы неисправных модулей ТРС.

В третьей главе разработана методика и произведена оценка эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС. В п.3.1. осуществлен выбор критериев эффективности функционирования алгоритмов управления кросс-диагностикой, которыми явились средняя длительность реализации и средний объем информации в расчет на одну компоненту.

В большинстве моделей предусматривается разбиение графа $D=(A, T)$, представляющего ТРС, на подграфы $D_1=(A_1, T_1)$, в которых процедур кросс-диагностики осуществляется независимо и параллельно, и подграф $D_0=(A_0, T_0)$, содержащий компоненты так называемой остаточной группы. Тогда средняя длительность $\bar{T}(N, l)$ реализации процедуры управления кросс-диагностикой ТРС определяется следующим выражением:

$$\bar{T}_a(N, l) = \sum_{l'=0}^l P(l' \leq l < l') (\bar{T}_1^0(N, l) + \bar{T}_0^0(N, l)), \quad (23)$$

где $P(l' \leq l < l')$ - вероятность того, что за рабочий этап в ТРС откажет l' модулей; $\bar{T}_1^0(N, l)$ и $\bar{T}_0^0(N, l)$ - средние длительности реализации процедуры управления кросс-диагностикой соответственно в подграфах D_1 и D_0 в этом случае, N - число модулей ТРС.

Будем считать, что поток отказов компонентов ТРС является

стационарным марковским потоком. Тогда вероятность $P_k^E(T_p)$ безотказной работы модуля A_k за время T_p распределена по экспоненциальному закону:

$$P_k^E(T_p) = e^{-\lambda_k T_p} \quad (24)$$

где λ_k $k \in \{1, \dots, N\}$ интенсивность отказов модуля A_k , $\lambda_k \in \Lambda$. В свою очередь, вероятность $P(T_p)$ того, что за время T_p рабочего этапа в ТРС произойдет отказ A_k модуля, определяется соотношением:

$$P_k^O(T_p) = 1 - e^{-\lambda_k T_p} \quad (25)$$

Предположим, что интенсивности отказов модулей A_k одинаковы. Вероятность $P(0 \leq t' \leq t)$ того, что за рабочий этап в ТРС откажет t' модулей, определяется по теореме о сумме и произведении вероятностей:

$$P(0 \leq t' \leq t) = C_{t'}^t (1 - e^{-\lambda_k T_p})^{t'} e^{-\lambda_k T_p (t - t')} \quad (26)$$

В свою очередь,

$$\bar{T}_{t'}^E(N, t) = \sum_{i=0}^t (P_i(N, t) \bar{T}_{t-i}^E) \quad (27)$$

где $P_i(N, t)$ - вероятность того, что в подграфе P_e окажется i отказавших модулей; \bar{T}_{t-i}^E - средняя длительность процедуры управле-

ния кросс-диагностикой в этом случае. Если исходить из предположения, что отказывающиеся изделия в графе В распределены равномерно, то задача определения вероятности той $P_2(N, t)$ сводится к определению компонент соответствующего гипергеометрического распределения [6]:

$$P_2(N, t) = C_n^i C_{n-t}^{n-i} / C_n^t \quad (28)$$

где $t = 2k + 1$.

Далее, $\bar{T}_2^0(N, t)$ определяется соотношением

$$\bar{T}_2^0(N, t) = (1 - C_{n-m}^t / C_n^t) T^0, \quad (29)$$

где T^0 - для единицы одностороннего теста, $n = N$ (единица).

Тогда с учетом (24)-(27) выражение (23) можно представить в виде:

$$\bar{T}_n(N, t) = \sum_{l=0}^t [C_n^l (1 - e^{-\lambda n l}) e^{-\lambda n} (t-l) \sum_{i=0}^l (\bar{T}_2^0 C_n^i C_{n-i}^{n-i} / C_n^t - T^0 C_{n-m}^t / C_n^t + T^0)] \quad (30)$$

Аналогичным образом вычисляется средний объем $\bar{U}_n(N, t)$ тестовой информации в расчете на одну компоненту:

$$\bar{U}_n(N, t) = 1/N \sum_{i=0}^t [C_t^{t-i} (1 - e^{-\lambda_n T_p}) e^{-\lambda_n T_p(t-i)} (n \sum_{j=0}^t \bar{U}_{t-i}^j C_{t-i}^j C_{n-t+i}^{t-i} / C_n^t - n U^0 C_{n-m}^{t-i} / C_n^t + n U^0)] \quad (31)$$

где \bar{U}_{t-i}^j - средний объем тестовой информации при реализации процесса кросс-диагностики в подграфе D_{t-i} , U^0 - объем одностороннего теста, $n = (N - m) / r$.

На рис. 1 и 2 представлены графические зависимости показателей эффективности $\bar{T}_n(N, t)$ и $\bar{U}_n(N, t)$ от параметра t и числа N компонентов системы при соответственно симметричной и асимметричной процедуре управления кросс-диагностикой ТРС. Для избежания нагромождения графиков на рисунках пунктирной линией представлены верхние граничные значения (ограничивающие) для соответствующих значений параметра t . Необходимо отметить, что т.к. аргументы N и t дискретны, то графические зависимости есть не что иное, как множество точек, которые для выяснения характера зависимости соединены линией.

В п.3.3. произведена относительная оценка эффективности предлагаемых в диссертационной работе алгоритмов по сравнению с аналогичными по классификационным признакам алгоритмами Хаккини, при этом были определены относительные оценки Z_T^S по средней длительности реализации и Z_U^S по среднему объему тестовой информации в расчете на одну компоненту для симметричной кросс-диагностики, и идентичные оценки Z_T^A и Z_U^A для асимметричной процедуры управления кросс-диагностикой. При $N \rightarrow \infty$

$$Z_T^S = 1.61 - 1,$$

$$Z_U^S = -(t+1)^2 / (t+1),$$

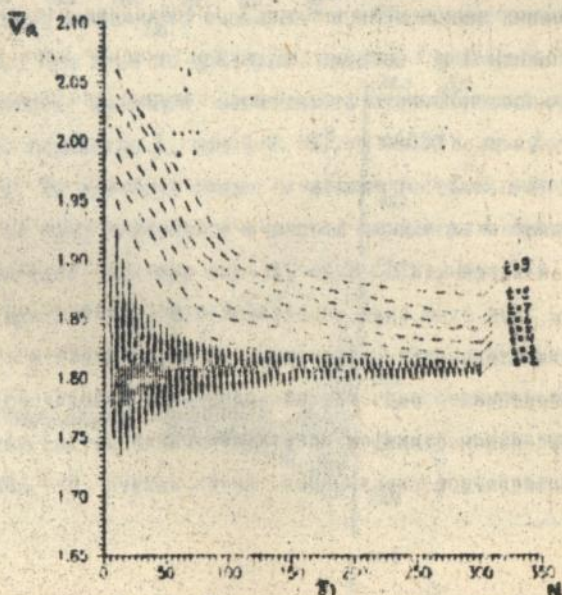
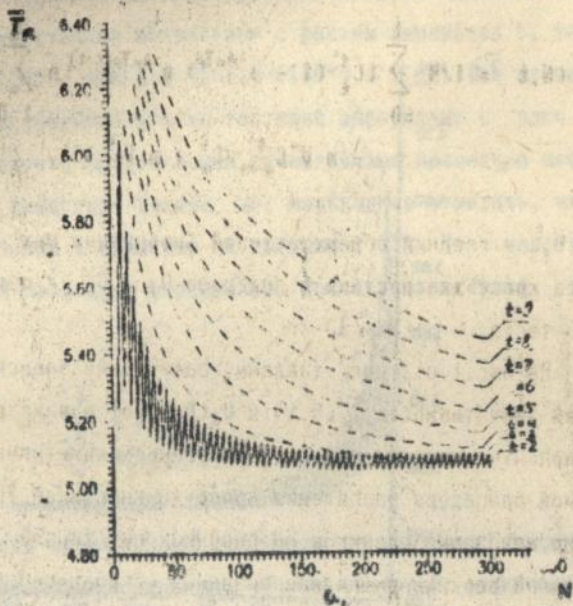


Рис. 1. Показатели эрктивности при симметричной кросс-диагностике ГРС

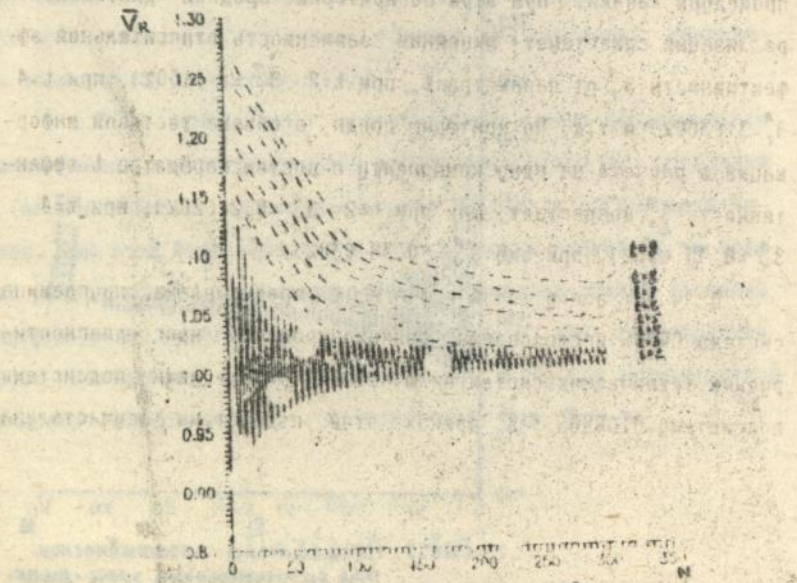
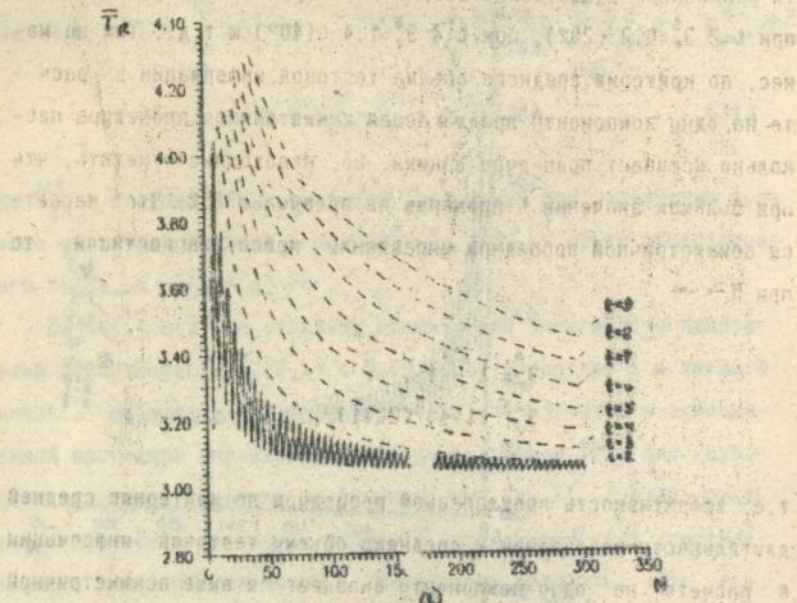


Рис. 2. Показатели эффективности при асимметричной кросс-диагностике ГР

т.е. эффективность предлагаемой симметричной процедуры управления кросс-диагностикой по критерию средней длительности реализации существенно возрастает с ростом параметра t , так при $t=2$ $3_T^S=0.2$ (20%), при $t=4$ $3_T^S=1.4$ (140%) и т.д. Тем не менее, по критерию среднего объема тестовой информации в расчете на одну компоненту предлагаемая симметричная процедура несколько уступает процедуре Хакими, но, необходимо отметить, что при большом значении t проигрыш не превышает 25%. Что касается асимметричной процедуры управления кросс-диагностикой, то при $N \rightarrow \infty$

$$3_T^A = t - 1,$$

$$3_V^A = (t-1)/(2t+1),$$

т.е. эффективность предлагаемой процедуры по критериям средней длительности реализации и среднему объему тестовой информации в расчете на одну компоненту оказывается выше асимметричной процедуры Хакими. При этом по критерию средней длительности реализации существует линейная зависимость относительной эффективности 3_T^A от параметра t , при $t=2$ $3_T^A=1$ (100%), при $t=4$ $3_T^A=3$ (300%) и т.д. По критерию среднего объема тестовой информации в расчете на одну компоненту с ростом параметра t эффективность 3_V^A возрастает, так при $t=2$ $3_V^A=0.2$ (20%), при $t=4$ $3_V^A=0.33$ (33%), при $t=6$ $3_V^A=0.38$ (38%).

В четвертой главе представлена программная система CROSS исследования функционирования кросс-диагностируемых технических систем включает в себя следующие подсистемы: подсистему DIAGNOS. В рамках этой подсистемы осуществлена

программная реализация симметричного и асимметричного алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС, представленных во второй главе настоящей диссертационной работы, для включения их в комплекс программ по обеспечению надежности функционирования ТРС:

подсистему AFFECT. В рамках этой подсистемы разработан комплекс программ определения таких показателей эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой, как средняя длительность реализации и средний объем тестовой информации в расчете на одну компоненту, и программа относительной оценки эффективности предлагаемых алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС по методике, представленной в третьей главе диссертационной работы;

имитационная модель MODEL функционирования ТРС с учетом отказов модулей для проведения экспериментальных исследований кросс-диагностики ТРС.

Все программные реализации представлены в виде программных модулей, допускающих их использование в каждой из подсистем. Программные модули реализованы на языке Турбо-Паскаль и функционируют в операционной среде DOS на ПЗВМ типа PC/AT - 386.

В п.4.4. приведены результаты экспериментов посредством имитационной модели функционирования ТРС с учетом отказов, на основании которых можно сделать вывод о том, что при соблюдении условий кросс-диагностики идентификация отказов происходит с точностью до отдельного неисправного модуля.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Обоснован выбор направления, связь много с разработкой и оценкой эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой, позволяющих идентифицировать состояние компонентов ТРС на основе результатов взаимного тестирования.

2. Выявлены недостатки существующих моделей управления кросс-диагностикой ТРС и сформулированы требования к разрабатываемым моделям. Сделан вывод о недостаточности рассмотрения вопроса выбора критериев оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой и разработки методики их оценки. Сформулирована задача построения адаптивных алгоритмов управления кросс-диагностикой при симметричной и асимметричной тестовой интерпретации, обеспечивающих определение отказов компонентов ТРС с точностью до отдельного модуля при полном тестировании.

3. Построены математические модели адаптивной процедуры управления кросс-диагностикой ТРС при симметричной и асимметричной тестовой интерпретации.

4. Разработаны симметричный и асимметричный алгоритмы управления кросс-диагностикой ТРС, обеспечивающие определение отказов компонентов с точностью до отдельного модуля при полном тестировании системы.

5. Обоснован выбор в качестве ведущего критерия оценки эффективности критерий затрат времени на реализацию, поскольку процедура кросс-диагностики относится к сервисным процедурам.

6. Предложен вероятностный подход к разработке модели

оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС в. дствие того, что значения компонентов ТРС носят случайный характер.

7. Представлена методика оценки эффективности алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС, позволяющая определять среднюю длительность реализации и средний объем необходимой тестовой информации в расчете на одну компоненту.

8. Приведена оценка эффективности как предлагаемых в настоящей диссертационной работе алгоритмов управления кросс-диагностикой, так и аналогичных по классификационным признакам алгоритмов Хакими. Сравнение результатов показало, что эффективность предлагаемого симметричного алгоритма управления кросс-диагностикой по критерию средней длительности реализации возрастает с увеличением верхней границы числа отказавших компонентов. По критерию объема тестовой информации в расчете на одну компоненту предлагаемая симметричная процедура управления несколько уступает процедуре Хакими. Эффективность предлагаемой асимметричной процедуры возрастает как по критерию средней длительности реализации, так и по критерию среднего объема тестовой информации в расчете на одну компоненту с увеличением верхней границы числа отказавших компонентов.

9. Разработана программная система, предназначенная для исследования функционирования кросс-диагностируемых ТРС. В рамках этой системы осуществлена программная реализация предлагаемых в диссертационной работе алгоритмов управления кросс-диагностикой ТРС для последующего использования в качестве модуля при взаимном влиянии по обеспечению надежности функционирования ТРС разработана программа оценки эффективности

алгоритма управления кросс-диагностикой, позволяющая определить такие показатели как средняя длительность реализации и средний объем необходимой тестовой информации в расчете на одну компоненту; предложена имитационная модель функционирования ТРС с учетом отказов компонентов.

10. Сделан вывод о корректности предлагаемых алгоритмов управления вследствие экспериментальных исследований, проведенных с использованием имитационной модели.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кирилин В.В., Черноусова Н.Л. Самодиагностика вычислительных систем с малой кратностью отказов // Кибернетика и системный анализ, № 6, 1993. - с. 23-26.

2. Черноусова Н.Л. Простая оценка эффективности алгоритмов кросс-диагностики вычислительных структур // Приборостроение, 1992, - Вып. 44. - с. 20-23.

3. Черноусова Н.Л. Алгоритмы кросс-диагностики технических распределенных систем / III научная конференция по обеспечению надежности функционирования вычислительных систем и сетей: Тезисы докл. конференции - Севастополь, 1990. - с. 38-403.

4. Черноусова Н.Л. Алгоритмы измерения и диагностики протоколов на сетях служебной связи. Заключительный отчет о НИР вибр "Диагноз-СП", гл.П, х/доп. N 1210, рег. ном. 324687 - Севастополь: ССИ, 1998 г.

5. Черноусова Н.Л. Алгоритмы повышения надежности и эффективности функционирования сетей служебной связи. Заключительный отчет о НИР вибр "Диагноз-СП-П", гл.П, х/доп. N 1230,

рег. ном. 340578 - Севастополь: СПИ, 1990 г.

В. Черноусова Н.И. И ледование и разработка методов контроля, тестирования, диагностики и обслуживания подвижных сетевых систем. Заключительный отчет о НИР шифр "Трумент-МС-СП", гл.1, 1/дог. № 1240, рег. ном. 442123 - Севастополь: СПИ, 1988 г.

Спискатель

Н.П. Черноусова

AB 30.85

AB 10.20

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
540 EAST 57TH STREET
CHICAGO, ILL. 60637

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

LIBRARY

U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE

115-8578

AB 30.821

АВ 30.821

Содержание

1991