

УДК 519.816

Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

## МЕТОДИКА САМОДІАГНОСТИКИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ГНУЧКИХ СТРУКТУР ПЕРЕВІРОЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

У статті наводяться основні положення оперативного самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром. Дається коротка характеристика гнучкої структури перевірочних зв'язків обчислювальних систем. Пропонується новий спосіб відстеження поточних структур перевірочних зв'язків системи, заснований на характеристичних числах діагностичного графа системи.

**Ключові слова:** самодіагностування, обчислювальна система, діагностичне ядро, обчислювальний модуль.

### Вступ

Самодіагностування – це процес визначення відмов ситуації в системі шляхом узагальнення результатів взаємних перевірок функціональних блоків об'єкта [1]. Даний вид діагностування відноситься до тестового діагностування та дозволяє діагностувати технічний стан об'єктів, в яких можливо розбивка на функціональні блоки, які мають можливість виконання тестових перевірок інших функціональних блоків. До класу таких об'єктів і відноситься обчислювальні системи, що поєднують кілька обчислювальних машин, що працюють під управлінням загальної операційної системи, з'єднаних загальною шиною і які вирішують безліч взаємопов'язаних завдань. Вперше ідея самодіагностування була запропонована в роботі Препарата Ф. [2]. Надалі метод самодіагностування отримав розвиток у роботах Пархоменка П.П., Согомоняна Е.С., Коваленка А.Е., Гуляєва В.А., Машкова В.А та інших. У даних роботах дослідження проводилися в напрямку розвитку діагностичних моделей і вдосконалення методів діагностування з централізованим і розподіленим діагностичним ядром, при якому повинен реалізуватися заданий набір тестових перевірок. Залежно від послідовності виконання перевірок загальний метод можна розбити на два види: послідовне і паралельне самодіагностування. Найбільшого поширення набуло паралельне самодіагностування з розподіленим діагностичним ядром [1, 2, 4]. Однак при реалізації паралельного самодіагностування викликає ряд проблемних питань: яким чином здійснити накопичення діагностичної інформації в діагностичному ядрі; яким чином вибрати або призначити обчислювальний модуль системи, якому можна довірити виконання аналізу діагностичної інформації; яким чином виконати самодіагностування із заданою вірогідністю; яким чином здійснювати самодіагностування обчислювальної системи в процесі виконання основних алгоритмів функціонування. Всі зазначені недоліки і труднощі можуть бути вирішені при реалізації самодіагностування з блукаючим діаг-

ностичним ядром, яке вперше було запропоновано в роботі [3]. Актуальність розробки методики самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром обумовлена необхідністю підвищення достовірності діагностування та необхідністю виконання фонових діагностування в процесі виконання обчислювальною системою основних завдань.

**Метою даної статті** є розробка методики самодіагностування на основі гнучких, випадкових структур перевірочних зв'язків.

### Результати досліджень

Основні поняття, визначення та допущення методу самодіагностування обчислювальних систем. Однією із загальноприйнятих діагностичних моделей обчислювальних систем (ОС) є діагностичний граф (ДГ) ОС (рис. 1).

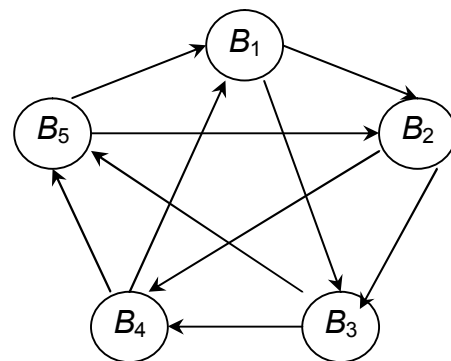


Рис. 1. Приклад діагностичного графа

Вершини ДГ відповідають таким частинам ОС, які здатні виконати перевірку технічного стану всіх інших частин системи. Виділені частини ОС названі обчислювальними модулями (ОМ). Перевірка одним обчислювальним модулем технічного стану іншого модуля називається елементарною перевіркою. У загальному випадку елементарна перевірка включає подачу на елемент який перевіряється ОМ послідовності вхідних тестових впливів і аналіз перевіряючим ОМ ступеня відповідності отриманої послідовності вихідних впливів еталонної реакції на тест (рис. 2).

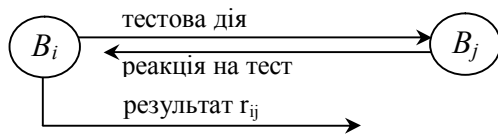


Рис. 2. Елементарна перевірка

Залежно від того, яким чином представляється результат елементарної перевірки, розрізняють кілька систем оцінювання [1]. Аналіз систем оцінювання, виконаний в роботі [4], показав, що найбільш адекватна процесам функціонування ОС система оцінювання ПМЧ [2]. У цій системі оцінювання результат елементарної перевірки представляється наступним чином:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } B_i - \text{сп.}, B_j - \text{сп.}; \\ 1, & \text{якщо } B_i - \text{спп.}, B_j - \text{неспр.}; \\ x = \{0,1\}, & \text{якщо } B_j - \text{неспр.} \end{cases} \quad (1)$$

Обчислювальний модуль вважається несправним, якщо його реакція на еталонні тестові впливи не збігається із заздалегідь розрахованою. Очевидно, що повнота діагностування ОМ визначається послідовністю тестових впливів.

*Аналіз методу паралельного самодіагностування з розподіленим діагностичним ядром.* У загальному випадку самодіагностування ОС полягає в наступному [1]. Обчислювальна система розбивається на  $N$  обчислювальних модулів, які можуть перевіряти один одного. Заздалегідь складається розклад елементарних перевірок, згідно з яким здійснюються взаємодії між обчислювальними модулями системи. Процедура самодіагностування складають елементарні перевірки, що виконуються ОМ, відповідно до розкладу. Сукупність результатів елементарних перевірок  $r_{ij}$  являє собою синдром. За результатами перевірок визначається ОМ, в яку пересялається отриманий синдром. Даний обчислювальний модуль виконує алгоритм аналізу синдрому, який отримав назву алгоритму самодіагностування, і, таким чином, визначає технічний стан всіх ОМ. Після визначення несправних модулів в системі проводиться відновлення ОС шляхом заміни несправних ОМ або шляхом реконфігурації системи.

Слід зазначити, що реалізація представленого способу самодіагностування має ряд серйозних труднощів. При роботі ОС за призначенням складно реалізувати жорсткий розклад перевірок, так як в даному випадку процедура самодіагностування є фоною по відношенню до робочих алгоритмів функціонування модулів системи. При цьому в системі можливі очікування для проведення призначених елементарних перевірок, і час діагностування ОС буде залежати від обсягу вирішуваних завдань в системі.

Складним завданням є також визначення обчислювального модуля системи, на який слід покласти функцію виконання алгоритму самодіагностування і

видачі результатів технічного стану обчислювальних модулів системи. Одним із суттєвих недоліків даного способу самодіагностування є обов'язковий облік параметра  $t$ . Параметр  $t$  визначається як найбільша кількість несправних ОМ в системі, при якому можна довіряти отриманому синдрому, а, отже, діагностувати систему. В роботі [2] доведено, що системі неможливо діагностувати при:

$$t > \left\lfloor \frac{N-1}{2} \right\rfloor. \quad (2)$$

Достовірність результатів діагностування даним методом визначається після виконання процедури діагностування і залежить від результатів елементарних перевірок та параметра  $t$ . Отже, при такому підході можливе отримання результату з низькою вірогідністю, що викличе нові труднощі.

*Основні поняття оперативного самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром.* У зв'язку з цим, пропонується нова організація самодіагностування ОС, яка позбавлена перерахованих недоліків і труднощів при реалізації. Така організація отримала назву оперативного самодіагностування обчислювальних систем. Сутність її полягає в такому:

1) структура перевірочних зв'язків у системі гнучка; елементарні перевірки в системі проводяться випадковим чином; для організації перевірок використовується вільний час циклу роботи двох ОМ;

2) передача діагностичної інформації виконується на основі способу умовної передачі результатів елементарних перевірок;

3) кожен ОМ, отримуючи діагностичну інформацію, формує ознака достатності структури перевірочних зв'язків для проведення алгоритму діагностування; критерієм задоволення ознаки достатності є мінімум часу діагностування; при задоволенні зазначеного критерію обчислювач виробляє алгоритм діагностування і визначає технічний стан кожного обчислювального модуля системи. Результати досліджень показали, що в більшості випадків немає необхідності досягати призначених повних жорстких структур (наприклад, як у Препарату [2]), а можна робити діагностування з тією ж ймовірністю меншим числом перевірок, за рахунок чого досягається вигреш у часі діагностування.

Так як елементарні перевірки проводяться випадковим чином у вільний час циклу роботи двох обчислювальних модулів, то оперативне самодіагностування може проводитися під час функціонування ОС за призначенням. На підставі цього можна вважати, що гнучкі структури мають переваги над жорсткими в плані залежності реалізації перевірочних зв'язків (елементарних перевірок) від ступеня завантаження ОС при роботі її за призначенням.

Для самодіагностування гнучкої структури перевірочних зв'язків на відміну від жорсткої немає необхідності в розробці алгоритму диспетчеризації

виконання елементарних перевірок в системі, який призначений для складання розкладу.

При самодіагностування з жорсткою структурою також необхідний додатковий процес для визначення обчислювального модуля системи, на який слід покласти виконання алгоритму. При гнучкій структурі процес її відстеження допомогою методу умовної передачі вже включає в себе визначення даного обчислювального модуля. Це спрощує загальну організацію процедури самодіагностування.

У разі відновлення системи шляхом реконфігурації при гнучкій структурі не виникає труднощів (на відміну від жорсткої) для подальшого самодіагностування системи.

При оперативному самодіагностуванні з гнучкою структурою перевірочних зв'язків достовірність визначення технічного стану ОС задається перед початком виконання процедури самодіагностування. У цьому випадку елементарні перевірки в системі проводяться до тих пір, поки не буде досягнута задана достовірність. Оперативне самодіагностування дозволяє визначити технічний стан ОМ системи при будь-якій кількості відмов у системі без урахування параметра  $t$  та будь-яких інших обмежень.

За допомогою даного методу можна діагностувати постійні відмови ОМ системи.

*Числові характеристики структур перевірочних зв'язків.* При розробці та дослідженні оперативного самодіагностування з гнучкою структурою перевірочних зв'язків використовувалися такі діагностичні моделі ОС:

– діагностичний орієнтований граф  $G(V, E)$  (рис. 1), на якому безліч вершин графа  $V = \{v_i\}$  відповідає обчислювальним модулям системи, а безліч дуг  $E = \{e_{ij}\}$  – елементарним перевірок ( $i, j = 1, \dots, N$ );

– система лінійних рівнянь, складена на підставі поточної структури перевірочних зв'язків у ОС.

Використання даних діагностичних моделей ОС дозволяє описати поточну структуру перевірочних зв'язків системи за допомогою відповідних інваріантів ДГ системи. В якості таких інваріантів обрані характеристичні числа  $C_i$ , де  $i = 2, 3, \dots, N-1$ . Фізичний сенс  $C_i$  полягає в наступному:  $C_i$  – це кількість підмножин  $X_i$  ОМ, що складаються з  $i$  модулів, які перевіряють ОМ, які залишилися. Так, наприклад, для ДГ, зображеного на рис. 1, характеристичні числа приймають такі значення:

$$C_2 = 5, \quad C_3 = 5, \quad C_4 = 5. \quad (3)$$

Характеристичні числа  $C_i$  характеризують будь-яку поточну структуру перевірочних зв'язків як кількість частково достатніх підструктур, які містяться в поточній структурі. Такою підструктурою з точки зору діагностування називається така структура перевірочних зв'язків, при якій  $i < N$  справних модулів системи перевіряють інші ( $N_i$ ) обчислювальних модулів.

Числові характеристики  $C_i$  можна визначити аналітично. Необхідно розглянути модифіковану матрицю суміжності ДГ Ам, в якій по головній діагоналі в  $i$ -му рядку стоять "1", якщо  $i$ -й ОМ виробляє хоча б одну перевірку, і "0" – в іншому випадку. Для ДГ (рис. 1) модифікована матриця суміжності:

$$A_m = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для матриці Ам числа  $C_i$  будуть позначати кількість різних варіантів покриттів і рядками всіх стовпців ненульовими елементами. Характеристики  $C_i$  можуть бути легко визначені шляхом повного перебору всіх елементів матриці Ам. Наприклад:

$$C_2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n \left[ \prod_{j=1}^n (a_{kj} \vee a_{ij}) \right]. \quad (5)$$

де  $a_{ij}, a_{kj}$  – елементи матриці Ам.

*Обґрунтування способу накопичення діагностичної інформації.* Слід зазначити, що для здійснення такого перебору необхідно, щоб кожен ОМ мав повну інформацію про всі перевірочні зв'язки, тобто матрицю суміжності ДГ.

Такий підхід може бути прийнятним, коли є зовнішнє діагностичне ядро. У системі ж з блукаючим діагностичним ядром можуть виникнути ускладнення при передачі діагностичної інформації. Пересилання інформації з одного обчислювального модуля в інший здійснюється за допомогою методу умовної передачі результатів елементарних перевірок. Сутність даного способу полягає в наступному (рис. 3):

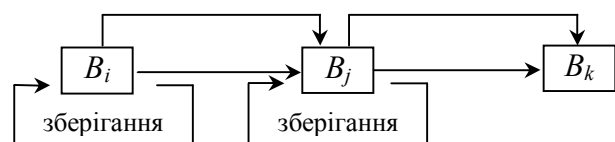


Рис. 3. Спосіб умовної передачі діагностованої інформації

Перевіряючий обчислювач системи залежно від результатів перевірки  $t_{ij}$  може пересилати або залишати у себе діагностичну інформацію – результати перевірок. Якщо обчислювач  $B_i$  оцінює  $B_j$  як справний, то  $B_i$  пересилає в обчислювач  $B_j$  результат елементарної перевірки  $\{r_{ij}\}$  і кодове слово, що несе інформацію про перевірочні зв'язки в системі. Обчислювач  $B_j$ , в свою чергу, пересилає в обчислювач  $B_k$ , якщо оцінює його справним, результати всіх попередніх перевірок і відповідне кодове слово структури перевірочних зв'язків. Беручи інформацію про результати перевірок та кодове слово структури, кожен обчислювальний модуль формує признак достатності і приймає рішення на проведення алгоритму діагностування.

Визначення ознаки достатності діагностичної інформації для виконання її аналізу. При формуванні ознаки достатності структури кожен ОМ визначає числові характеристики  $C_i$  на основі кодів простих інваріантів діагностичного графа. Характеристики  $C_i$  дозволяють однозначно визначити ймовірність видачі результату діагностування системи. Аналітично її можна визначити як одночасна поява двох подій:

1) подія А – в поточній структурі перевірочних зв'язків знайдеться хоча б одна достатня підструктура;

2) подія В – кожен ОМ з домінуючої підмножини  $X_i$  в цій достатній підструктурі буде справним.

Ймовірності цих подій визначаються як

$$P(A) = C_i / C_n^i, \quad P(B) = p^i \cdot q^{n-i},$$

де  $C_i$  – числові характеристики поточної структури перевірочних зв'язків;  $C_n^i$  – кількість комбінацій з  $n$  по  $i$ ;  $i$  – потужність підмножини  $X_i$  в достатній підструктурі ДГ;  $p$  – ймовірність безвідмовної роботи ОМ, прийнята для всіх модулів однаковою;  $q$  – ймовірність відмови ОМ,  $q=1-p$ .

Після цього за формулою повної ймовірності можна визначити ймовірність видачі результату діагностування для поточної структури і стану ОС в будь-який момент часу:

$$P_{BP} = \sum_{i=2}^{n-1} C_n^i \cdot p^i \cdot q^{n-i} \cdot \frac{C_i}{C_n^i} = \sum_{i=2}^{n-1} C_i \cdot p^i \cdot q^{n-i}. \quad (7)$$

Одним з головних завдань оперативного самодіагностування є визначення моменту часу початку виконання алгоритму. Принаймні проведення елементарних перевірок в системі, ймовірність видачі результату самодіагностування  $P_{BP}$  згідно (7) зростає. Таким чином кожній структурі перевірочних зв'язків відповідатиме своє значення  $P_{BP}$ . У випадку можна визначити таке значення  $P_{BP}$ , рівне  $P_{OPT}$ , при якому слід припинити виконання елементарних перевірок в системі і почати обробляти синдром, тобто виконувати алгоритм самодіагностування. Отже, час початку алгоритму діагностування визначається згідно виразу:

$$t_{\text{поч.діаг.}} = t\{P_{BP} > P_{OPT}\}. \quad (8)$$

Значення  $P_{OPT}$  знаходиться з умови мінімуму часу виконання всієї процедури самодіагностування. Алгоритм діагностування буде проводити той обчислювальний модуль, який раніше за інших встановить виконання умови (8). При цьому вся діагностична інформація надходить в даний модуль на основі способу умовної передачі результатів елементарних перевірок.

Можна довести, що при такому способі передачі інформації справні обчислювачі будуть мати кількість інформації більше, ніж несправні і алгоритм буде проводитись одним з справних ОМ. Цим вирішується одна з головних і важких завдань при реалізації самодіагностування – визначення ОМ, якому можна довіряти і на який слід покласти функції проведення алгоритму і видачі результатів.

Особливості аналізу діагностичної інформації для розпізнавання ситуації відмови. Заключним етапом оперативного самодіагностування є виконання дешифрації синдрому. Пропонується використовувати ймовірнісний алгоритм самодіагностування, що враховує апріорні ймовірності справного стану ОМ системи. Після виконання алгоритму самодіагностування можливі два результати:

– ОМ видає результат технічного стану системи;

– ОМ не видає стан системи, при цьому видається команда на продовження накопичення елементарних перевірок.

Після видачі результату самодіагностування здійснюється відновлення працездатності системи шляхом відключення з системи несправного обчислювального модуля і покладання розв'язуваних ним завдань на решту справних модулів. Після цього вся обчислювальна система продовжує функціонувати за призначенням  $i$ , паралельно, виконується оперативне самодіагностування з меншим числом ОМ.

## Висновки

Пропонована стратегія оперативного самодіагностування може знайти застосування не тільки в ОС рухомих об'єктів, а й у будь-яких обчислювальних системах, що складаються з великого числа модулів, здатних виконувати перевірки один одного. Виконання оперативного самодіагностування в цих системах дозволить забезпечити максимальну живучість ОС та її системи діагностування, яка буде здатна виявляти несправності при відмовах в самих засобах контролю за рахунок використання «блукуючого» ядра, підвищити готовність ОМ до виконання основних функцій за рахунок діагностування їх технічного стану під час функціонування за призначенням, зменшити час між моментом виникнення несправності і моментом її виявлення за рахунок постійної участі модулів у процедурі діагностування.

## Список літератури

1. Машков В.А. Самодиагностирование бортовых вычислительных систем / В.А. Машков – К.: Изд-во КВВАИУ, 1989. – 84с.
2. Preperata F.P. On the connection assignment problem of diagnosable systems / F.P. Preperata, G. Metzger, H.T. Chien // IEEE Trans. Electron. Comput., 1967. EC-16, №12. – P. 848-854.
3. Машков В.А. Организация самоконтроля многомодульных систем на основе оптимальных структур проверочных связей / В.А. Машков, О.В. Барабаш // Электронное моделирование. – 1995. – № 3, т. 17. – С. 68-75.
4. Коваленко А.Е. Отказоустойчивые микропроцессорные системы / А.Е. Коваленко, В.В. Гула – К.: Техніка, 1986. – 150 с.

Надійшла до редколегії 3.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Барабаш, Державний університет телекомунікацій, Київ.

**МЕТОДИКА САМОДИАГНОСТИРОВАНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ ГИБКИХ СТРУКТУР ПРОВЕРОЧНЫХ СВЯЗЕЙ**

Д.Н. Обидин

*В статье приводятся основные положения оперативного самодиагностирования с блуждающим диагностическим ядром. Дается краткая характеристика гибкой структуры проверочных связей вычислительных систем. Предлагается новый способ отслеживания текущих структур проверочных связей системы, основанный на характеристических числах диагностического графа системы.*

**Ключевые слова:** самодиагностики, вычислительная система, диагностическое ядро, вычислительный модуль.

**METHODS SELF-DIAGNOSIS COMPUTER SYSTEMS  
BASED ON FLEXIBLE STRUCTURES VERIFICATION RELATIONS**

D.M. Obidin

*The article describes the main provisions of operational self-diagnosis with a wandering diagnostic kernel. A brief characterization of the flexible structure verification of computer systems. A new way to track the current structures of test network communications based on the eigenvalues of the graph diagnostic system.*

**Keywords:** self-diagnostic, computer system, diagnostic core, computer module.