

УДК 681.324

О.В. Барабаш, О.В. Чмут

Національна академія оборони України, Київ

## СПОСІБ ЗБИРАННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ САМОДІАГНОСТУВАННЯ В РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Розглядається збір, накопичення та передача результатів тестових перевірок, отриманих при виконанні самодіагностування вузлів інформаційної системи за принципом блукаючого діагностичного ядра. Пропонується спосіб накопичення діагностичної інформації для визначення справного вузла системи, на який покладаються функції аналізу результатів перевірок та визначення діагностичного стану всіх вузлів системи.*

*діагностична інформація, розподілена інформаційна система, самодіагностування*

### Вступ

З появою розподілених інформаційних систем виникла проблема постійного відстеження технічного стану й коректності роботи їх вузлів комутації та ліній зв'язку. Для вирішення цієї проблеми свого часу було розроблено значну кількість технічних рішень, серед яких перспективною виявилась ідея здійснення самодіагностування окремих вузлів системи іншими. Особливої актуальності ці питання набувають в умовах тривалої автономної роботи інформаційно-керуючих систем, коли звичайні засоби контролю та усунення несправностей є неспроможними або недоцільними.

Самодіагностуванням називається процес визначення відмовної ситуації в системі шляхом узагальнення результатів взаємних перевірок вузлів комутації. Самодіагностування складається з декількох процедур: виконання перевірок та накопичення діагностичної інформації в кожному вузлі системи, визначення достатності діагностичної інформації, знаходження апостеріорних ймовірностей справного стану вузлів, прийняття рішення про справний чи несправний стан окремих вузлів.

Вперше ідея самодіагностування була запропонована в роботі Ф. Препарата [1]. У подальшому метод самодіагностування одержав розвиток у роботах П.П. Пархоменка, Є.С. Согомояна, А.Є. Коваленка, В.А. Гуляєва, В.А. Машкова, а також Т. Барсі, Дж. Рассела, К. Кіма та інших. У даних роботах дослідження проводилися у напрямі розвитку діагностичних моделей та удосконалення методів діагностування з централізованим і розподіленим діагностичними ядрами, при яких повинен реалізовуватися заданий набір тестових перевірок [1,2]. У роботі [3] вперше було запропоновано самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром, при якому перевірки вузлів виконуються випадковим чином.

Актуальність розроблення методики самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром обумовлена необхідністю підвищення достовірності

діагностування і необхідністю виконання фонового діагностування в процесі виконання інформаційною системою основних завдань.

**Метою даної статті** є розроблення способу збирання діагностичної інформації для визначення справного вузла, на який покладаються функції аналізу результатів перевірок, що дозволяє підвищити достовірність діагностування інформаційної системи.

**Постановка завдання.** Припустимо, що у системі виконується самодіагностування за принципом блукаючого ядра [3,4]. При цьому елементарні перевірки  $t_{ij}$  ( $i, j=1, \dots, N$ ,  $N$  – число вузлів системи) виконуються випадковим чином. Як припущення вважається, що закон розподілу перевірок між вузлами рівномірний, хоча в реальній системі він залежить від завантаженості вузлів. Необхідно розробити та обґрунтувати спосіб збирання діагностичної інформації в одному із справних вузлів, щоб цей вузол виконував аналіз результатів перевірок та приймав рішення стосовно технічного стану всіх вузлів системи.

### Математична модель та припущення

Як математична модель інформаційної системи обрана модель у вигляді графа  $G(V,E)$ . Множині вершин  $V$  ставиться у відповідність множина вузлів комутації системи, а множині ребер  $E$  – множина ліній зв'язку інформаційної системи. Однією з загальноприйнятих діагностичних моделей інформаційних систем (ІС) є діагностичний граф (ДГ) ІС (рис. 1). Вершини ДГ відповідають таким частинам ІС, що здатні виконати перевірку технічного стану всіх інших частин системи. Виділені частини ІС являють собою вузли комутації (ВК). Перевірка одним вузлом технічного стану іншого вузла називається елементарною перевіркою. У загальному випадку елементарна перевірка включає подачу на вузол, що перевіряється, послідовності вхідних тестових впливів і аналіз контролюючим вузлом ступеня відповідності отриманої послідовності вихідних впливів еталонній реакції на тест (рис. 2).

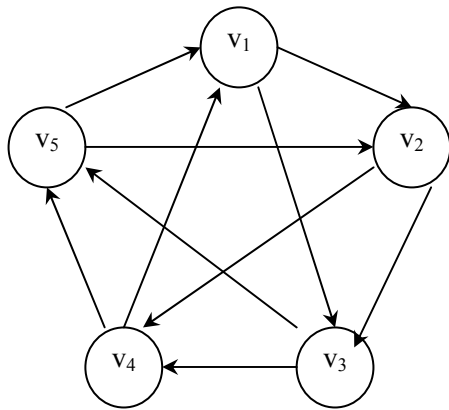


Рис. 1. Діагностичний граф

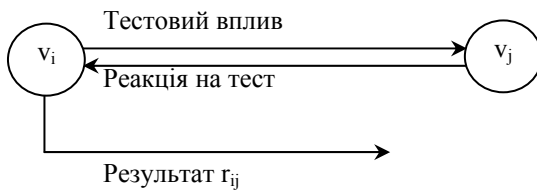


Рис. 2. Елементарна перевірка

Залежно від того, яким чином визначається результат елементарної перевірки, розрізняють кілька систем оцінювання [2]. Аналіз систем оцінювання, здійснений у роботі [4], показав, що найбільш адекватною процесам функціонування ІС є система оцінювання Препарата [1]. У цій системі оцінювання результат елементарної перевірки визначається так:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } v_i - \text{спр.}, v_j - \text{спр.}; \\ 1, & \text{якщо } v_i - \text{спр.}, v_j - \text{неспр.}; \\ x = \{0,1\}, & \text{якщо } v_i - \text{неспр.} \end{cases} \quad (1)$$

Вузол  $v_j$  вважається несправним, якщо його реакція на еталонні тестові впливи не збігається з розрахованою. Множина результатів перевірок  $\{r_{ij}\}$  отримала назву синдрому  $R_\Phi$ . Очевидно, що повнота діагностування вузла визначається повнотою тестових впливів, що подаються на нього.

**Спосіб умовної передачі результатів перевірок.** Одним з основних елементів самодіагностування є передача діагностичної інформації на основі способу умовної передачі результатів елементарних перевірок (рис. 3) [3, 4].

Суть даного способу полягає у такому. Перевіряючий вузол системи залежно від результату перевірки може пересилати в перевірений вузол або залишати усебе діагностичну інформацію. Якщо вузол комутації  $v_i$  оцінює  $v_j$  як справний ( $r_{ij}=0$ ), то  $v_i$  пересилає у вузол  $v_j$  результат елементарної перевірки  $\{r_{ij}\}$  і кодове слово, що несе інформацію про перевірені зв'язки в системі. У випадку, якщо  $v_i$  оцінює вузол  $v_j$  несправним ( $r_{ij}=1$ ), то  $v_i$  не пересилає, а залишає у себе всю інформацію про структуру і результати перевірок. Вузол  $v_j$ , у свою чергу пересилає в  $v_i$ , якщо оцінює його справним, результати всіх попередніх перевірок і відповідне кодове слово структури перевіренних зв'язків.

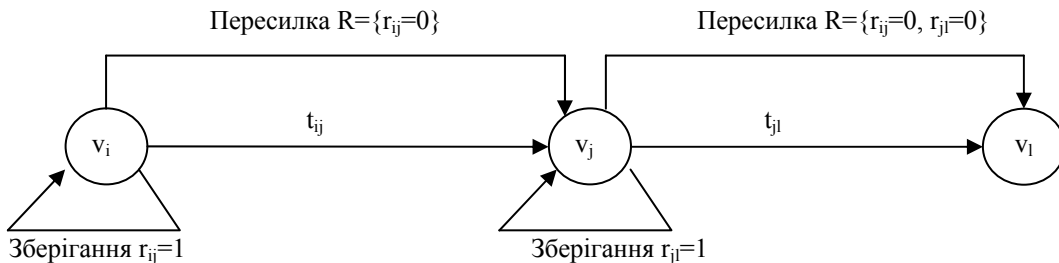


Рис. 3. Спосіб умовної передачі результатів перевірок

Приймаючи інформацію про результати перевірок і кодове слово структури, кожен вузол комутації формує ознаку достатності структури і приймає рішення на проведення алгоритму діагностування.

Основною метою описаного способу умовної передачі є визначення справного вузла, який виконуватиме алгоритм самодіагностування. Завдяки запропонованому способу справні вузли матимуть інформації більше, ніж несправні, і швидше накопичать достатній об'єм інформації для визначення технічного стану всієї системи.

Для обґрунтування цього твердження правомірним є доведення такої теореми.

**Теорема.** При пересилці діагностичної інформації згідно зі способом умовної передачі результа-

тів елементарних перевірок для будь-якої поточної структури справедливо, що один із справних вузлів накопичить більше результатів перевірок, ніж несправні вузли.

**Доведення.** Припустимо що в якій-небудь довільний момент часу в інформаційній системі, що складається з  $N$  вузлів, відмовили  $N_2$  вузлів. До цього моменту часу залишилися справними  $N_1$  вузлів, де  $N_1 = N - N_2$ .

У системі виконується процедура самодіагностування, в результаті якої виконано  $M$  перевірок.

Розіб'ємо множину всіх вузлів комутації  $\{N\}$  на дві підмножини (рис. 4):  $\{N_1\}$  – підмножина справних ВК,  $N_1 = |\{N_1\}|$ ;  $\{N_2\}$  – підмножина несправних ВК,  $N_2 = |\{N_2\}|$ .

На рис. 4 позначено:

$M_1$  – кількість ребер, що витікають з підмножини  $\{N_1\}$  і входять в  $\{N_2\}$ :  $e_{ij} = \{v_i, v_j\} \in \{M_1\}$ ,  $v_i \in \{N_1\}$ ,  $v_j \in \{N_2\}$ ;

$M_2$  – кількість ребер між вузлами підмножини  $\{N_1\}$ :  $E_{ik} = \{v_i, v_k\} \in \{M_2\}$ ,  $v_i \in \{N_1\}$ ,  $v_k \in \{N_1\}$ ;

$M_3$  – кількість ребер, що витікають з підмножини  $\{N_2\}$  і входять в  $\{N_1\}$ :  $e_{ji} = \{v_j, v_i\} \in \{M_3\}$ ,  $v_i \in \{N_1\}$ ,  $v_j \in \{N_2\}$ ;

$M_4$  – кількість ребер, між вузлами підмножини  $\{N_2\}$ :  $E_{jl} = \{v_j, v_l\} \in \{M_4\}$ ,  $v_i \in \{N_2\}$ ,  $v_j \in \{N_2\}$ .

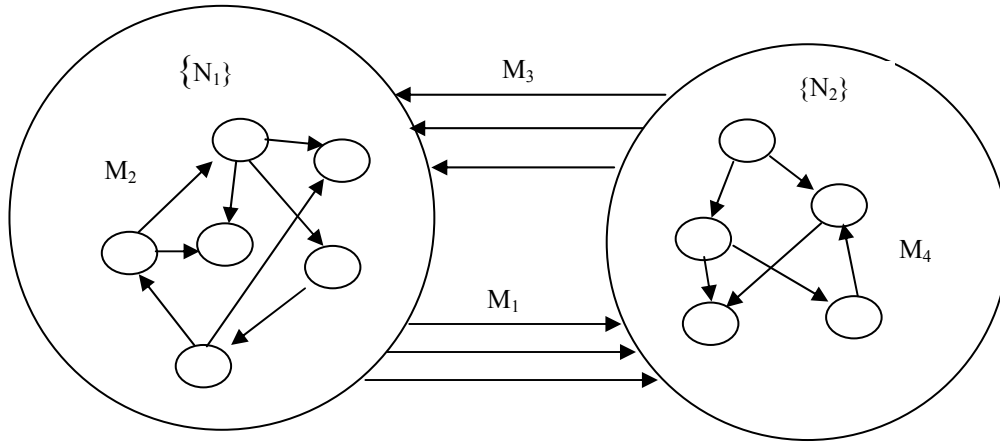


Рис.4. Розбивання діагностичного графа на дві підмножини вузлів:  $\{N_1\}$  – справних,  $\{N_2\}$  – несправних

Оскільки в діагностичному графі всього  $M$  ребер, то очевидно, що підмножини ребер  $\{M_i\}$  є непересічними:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4.$$

Припустимо що перевірки рівномірно розподілені між вузлами комутації. Тоді  $m = M / N$  – середня кількість перевірок, виконаних одним вузлом або середня кількість вихідних ребер однієї вершини діагностичного графа.

Припустимо, що всі  $m$  перевірок, які виконав один з вузлів, рівномірно розподілені між всіма іншими  $N-1$  вузлами. Тоді справний вузол  $v_i$ ,  $v_i \in \{N_1\}$  також виконав  $m$  перевірок, причому з них  $m \cdot (N_1-1)/(N-1)$  перевірів справних вузлів, а  $m \cdot N_2/(N-1)$  – несправних. Аналогічно  $v_j$ , де  $v_j \in \{N_2\}$ , перевірів  $m \cdot N_1/(N-1)$  справних і  $m \cdot (N_2-1)/(N-1)$  несправних вузлів.

Виходячи з цього,  $M_i$  мають такі значення:

$$\begin{cases} M_1 = mN_1 \frac{N_2}{N-1}; \\ M_2 = mN_1 \frac{N_1-1}{N-1}; \\ M_3 = mN_2 \frac{N_1}{N-1}; \\ M_4 = mN_2 \frac{N_2-1}{N-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Розглянемо детальніше один із справних вузлів  $v_i \in \{N_1\}$ . Цей вузол накопичить у середньому  $l_i$  результатів перевірок:

$$l_i = l_1 + l_2 + l_3, \quad (3)$$

де  $l_1$  – кількість перевірок, які виконав вузол  $v_i$ ;

$l_2$  – кількість результатів перевірок, які одержав  $v_i$  відповідно до способу умовної передачі після

того, як його перевірили інші  $N_1-1$  справних вузлів з результатом "0";

$l_3$  – кількість результатів перевірок, які одержав  $v_i$  від тих, що перевірили його з результатом "0" несправних вузлів  $v_j \in \{N_2\}$ .

Виходячи з цього:

$$l_1 = m; \quad l_2 = \frac{M_2}{N_1}; \quad l_3 = \frac{1}{2} \frac{M_3}{N_1}. \quad (4)$$

У виразі  $l_3$  дріб  $1/2$  виражає імовірність появи нульового результату, якщо перевірка виконана несправним вузлом. Підставивши вирази (2) та (4) в (3), одержимо кількість результатів, які накопичить справний вузол  $v_i$ :

$$l_i = m + m \frac{N_1-1}{N-1} + m \frac{N_2}{2(N-1)} = \frac{m}{2(N-1)} (3N + N_1 - 4). \quad (5)$$

Тепер розглянемо один з несправних ВК  $v_j \in \{N_2\}$ . Цей вузол перевірів  $l_4 = m$  інших вузлів, а також одержав  $l_5$  результатів від інших несправних вузлів, що перевірили його з результатом "0".

Оскільки справні вузли перевірили  $v_j$  з результатом "1" (відповідно до (1)), то, згідно способу умовної передачі, вони не перешлють йому результати своїх перевірок.

Виходячи з цього:

$$l_j = l_4 + l_5, \quad (6)$$

$$\text{де } l_5 = \frac{1}{2} m \frac{N_2-1}{(N-1)}$$

Таким чином, несправний вузол  $v_j$  накопичить таку кількість результатів перевірок:

$$l_j = m + m \frac{N_2-1}{2(N-1)} = \frac{m}{2(N-1)} (2N + N_1 - 3). \quad (7)$$

Тепер для доведення теореми необхідно довести, що  $l_i > l_j$  або  $\Delta L = l_i - l_j > 0$ . Вираз для  $\Delta L$  набуде вигляду:

$$\Delta L = l_i - l_j = \frac{m}{2(N-1)}(N-1 + N_1 - N_2). \quad (8)$$

Враховуючи те, що  $N = N_1 + N_2$ , одержимо

$$\Delta L = \frac{m}{2(N-1)}(2N_1 - 1). \quad (9)$$

Аналіз виразу (9) показує, що  $\Delta L$  може бути менше нуля тільки тоді, коли  $N_1 = 0$ . У випадку, якщо в системі є хоча б один справний вузол, то він накопичить діагностичної інформації більше, ніж несправні вузли. **Теорема доведена.**

Слід зазначити, що під час доведення теореми використовувалися такі допущення: рівномірність розподілу перевірок між вузлами; рівномірний закон розподілу результатів перевірок ( $r_{ij} = 0 \vee 1$ ), які виконуються несправними вузлами.

**Приклад.** Особливий інтерес представляє окремих випадок, коли через нерівномірність закону розподілу результатів перевірок, що виконуються несправними вузлами, справні вузли одержують інформації менше, а несправні – більше. Це може відбуватися в таких випадках:

а) набір перевірок  $\{M_3\}$  (рис. 4) буде виконаний з результатом "1", і несправні вузли не пересилатимуть у справні результати перевірок. Ця подія може відбутися з імовірністю  $p_1 = 0,5^{M_3}$ ;

б) набір перевірок  $\{M_4\}$  виконаний з результатом "0", що може трапитися з імовірністю  $p_2 = 0,5^{M_4}$ .

Унаслідок цього несправні ВК накопичать результатів більше, ніж у першому випадку.

З урахуванням описаних випадків можна помітити що  $l_3$  у виразі (3) буде дорівнювати 0, а  $l_5$  у виразі (6) подвоїться.

Таким чином:

$$l'_i = m + m \frac{N_1 - 1}{N - 1}; \quad l'_j = m + m \frac{N_2 - 1}{N - 1}, \quad (10)$$

де  $l'_i$  – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному із справних ВК  $v_i \in \{N_1\}$ ;

$l'_j$  – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному з несправних ВК  $v_j \in \{N_2\}$ .

Порівнюючи різницю, як в першому варіанті, одержимо:

$$\Delta L' = l'_i - l'_j = \frac{m}{N-1}(N_1 - N_2) \quad (11)$$

Таким чином, величина  $\Delta L'$  буде негативна (справні вузли накопичать інформації менше, ніж несправні) тільки у тому випадку, коли  $N_2 > N_1$ . Ця

подія може відбутися з імовірністю  $p_3$ , яка визначається як імовірність відмови в системі більше половини вузлів.

Припустимо, що імовірність справного стану  $p$  однакова для кожного вузла. Тоді, використовуючи приватну теорему про повторення дослідів, одержимо:

$$p_3 = \sum_{N_2 = \left\lceil \frac{N+1}{2} \right\rceil}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (12)$$

Таким чином, на підставі вищенаведених досліджень можна зробити висновок що несправні вузли можуть накопичити інформації більше ( $\Delta L < 0$ ) тільки при одночасній появі подій:

1) несправні вузли перевіряють справні з результатом "1";

2) несправні вузли перевіряють один одного з результатом "0";

3) у системі, що складається з  $N$  вузлів, більше несправних вузлів, ніж справних. Імовірність появи цих подій відповідно дорівнює  $p_1, p_2, p_3$ , а імовірність їх одночасної появи дорівнює добутку:

$$p' = p\{\Delta L' < 0\} = p_1 p_2 p_3 = 0,5^{(M_3+M_4)} \sum_{N_2 = \left\lceil \frac{N+1}{2} \right\rceil}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (13)$$

Слід зазначити, що вірогідність  $p'$  є дуже малою величиною, якою можна знехтувати. Тому можна стверджувати, що під час виконання процедури самодіагностування в будь-якому випадку справні вузли накопичать більше результатів перевірок, ніж несправні.

Для підтвердження цього твердження розглянемо приклад.

У системі, що складається з  $N = 8$  вузлів, виконано  $M = 20$  перевірок. З урахуванням  $N_1 = 3, N_2 = 5, p = 0,8$  імовірність  $p'$  відповідно до умови (13) буде дорівнювати:

$$p' = p\{\Delta L' < 0\} = 0,5^{(5,35+7,14)} \sum_{i=5}^8 C_8^i (1-p)^i p^{8-i} = 1,8 \cdot 10^{-6}. \quad (14)$$

З наведеного прикладу видно що у несправних вузлів може бути більше результатів перевірок, ніж у справних, проте імовірність цієї події настільки мала, що можна вважати цю подію неможливою.

### Висновки

Таким чином, можна зробити висновок що один зі справних вузлів накопичить інформації більше, ніж несправні, а, отже, він і виконуватиме алгоритм діагностування після задоволення умови достатності діагностичної інформації.

Одним з важливих і складних завдань під час організації самодіагностування є визначення вузла комутації, на який слід покласти функції виконання алгоритму дешифрації синдрому. Під час самодіагностування це завдання досить просто вирішено завдяки розробленому способу умовної передачі результатів елементарних перевірок. Доведена теорема обґрунтовує правомірність застосування запропонованого способу з урахуванням обумовлених вище обмежень. Справний вузол визначається завдяки постійному відстеженню структури перевірочних зв'язків. Він виконує алгоритм самодіагностування і передає інформацію про технічний стан інформаційної системи в адміністративну групу.

### Список літератури

1. Preperata F. P., Metze G., Chien H. T. *On the connection assignment problem of diagnosable systems.* – *IEEE Trans. Electron. Comput.*, 1967. EC-16. № 12. –

P. 848–854.

2. Коваленко А. Е., Гула В. В. *Отказоустойчивые микропроцессорные системы.* – К.: Техника, 1986. – 150 с.

3. Машков В.А., Барабаш О.В. *Организация самоконтроля многомодульных систем на основе оптимальных структур проверочных связей // Электронное моделирование.* – 1995. – № 3, т. 17. – С. 68-75.

4. Барабаш О.В. *Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем.* – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.

Надійшла до редколегії 5.03.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Машков, Національна академія оборони України, Київ.