

УДК 519.816

Цитрицька Л. М., канд. техн. наук (Тел.: +380 50 216 96 76. E-mail: tsitritskaya@gmail.com)
(Державний університет телекомунікацій, м. Київ)

МЕТОДИКА САМОДІАГНОСТУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ГНУЧКИХ СТРУКТУР ПЕРЕВІРОЧНИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Цитрицька Л. М. Методика самодіагностування телекомунікаційних мереж на основі гнучких структур перевірочних зв'язків. У статті наводяться основні алгоритми оперативного самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром для телекомунікаційних мереж, що складаються із великого числа модулів, здатних виконувати перевірки один одного. Показано, що оперативне самодіагностування в цих системах дозволить забезпечити максимальну стійкість телекомунікаційних мереж та їх систем діагностування, яка буде здатна виявляти несправності при відмовах в самих засобах контролю. Зокрема, дається коротка характеристика гнучкої структури перевірочних зв'язків телекомунікаційних мереж. Пропонується новий спосіб відстеження поточних структур перевірочних зв'язків телекомунікаційних мереж, заснований на характеристичних числах діагностичного графа системи.

Ключові слова: самодіагностування, телекомунікаційна мережа, діагностичне ядро, обчислювальний модуль, діагностичний граф

Цитрицькая Л. Н. Методика самодиагностики телекоммуникационных сетей на основе гибких структур проверяющих связей. В статье приводятся основные алгоритмы оперативной самодиагностики с блуждающим диагностическим ядром для телекоммуникационных сетей, состоящих из большого числа модулей, способных выполнять проверки друг друга. Показано, что оперативная самодиагностика в этих системах позволит обеспечить максимальную устойчивость телекоммуникационных сетей и их систем диагностирования, которая будет способна обнаруживать неисправности при отказах в самых средствах контроля. В частности, дается краткая характеристика гибкой структуры проверочных связей телекоммуникационных сетей. Предлагается новый способ отслеживания текущих структур проверочных связей телекоммуникационных сетей, основанный на характеристических числах диагностического графа системы.

Ключевые слова: самодиагностика, телекоммуникационная сеть, диагностическое ядро, вычислительный модуль, диагностический граф

Tsytryts'ka L. M. Methods of diagnosis telecommunication networks based on a flexible structure pings. The article presents the basic algorithms of operational diagnostic self-test with the vague nucleus for telecommunication networks consisting of a large number of modules that can perform validation of each other. It is shown that operative self-diagnosis in these systems will ensure maximum stability of telecommunications networks and systems diagnostics, which will be able to detect faults at fault in most controls. In particular, a brief characterization of the flexible structure of test connections telecommunications networks is given. It is propose a new way to track the current structures of test connections telecommunications networks, based on the number of diagnostic characteristic graph of the system.

Keywords: self-diagnostics, telecommunications network, diagnostic core, computing module, diagnostic graph

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., Согомояна Е. С., Коваленка А. Е., Гуляева В. А., Машкова В. А., Барабаша О. В. 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 реалізовуватися

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...6]. 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 діагностичним 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 телекомунікаційної мережі на основі гнучких, випадкових структур перевірочних зв'язків.

Основні поняття, визначення та допущення методу самодіагностування телекомунікаційних мереж. Однією із загальноприйнятих діагностичних моделей телекомунікаційних мереж (ТМ) є діагностичний граф (ДГ) ТМ (Рис. 1). Вершини ДГ відповідають таким частинам ТМ, які здатні виконати перевірку технічного стану всіх інших частин системи. Виділені частини ТМ названі обчислювальними модулями даної мережі (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).

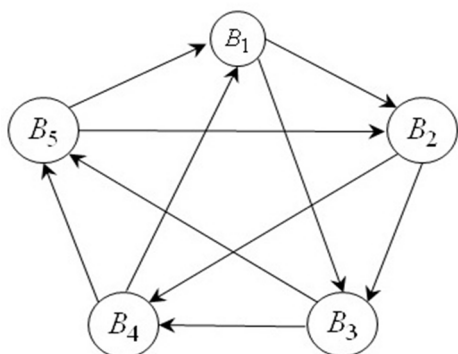


Рис. 1. Діагностичний граф

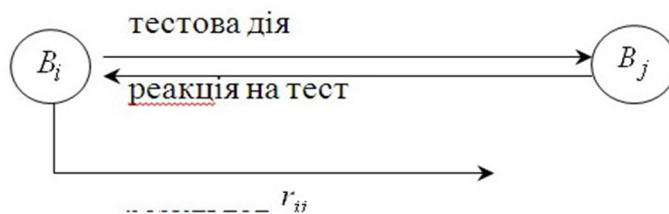


Рис. 2. Елементарна перевірка

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 телекомунікаційної мережі це система оцінювання ПМЧ [2]. У цій системі оцінювання результат елементарної перевірки представляється наступним чином:

$$r_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } B_i - \text{спр.}, B_j - \text{спр.}; \\ 1, & \text{якщо } B_i - \text{спр.}, B_j - \text{неспр.}; \\ x = \{0,1\}, & \text{якщо } B_j - \text{неспр.} \end{cases}$$

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

Аналіз методу паралельного самодіагностування з розподіленим діагностичним ядром. У загальному випадку самодіагностування ТМ полягає в наступному [1]. Телекомунікаційна мережа розбивається на N обчислювальних модулів, які можуть перевіряти один одного. Заздалегідь складається розклад елементарних перевірок, згідно з яким здійснюються взаємодії між обчислювальними модулями мережі. 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 пересилається 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 телекомунікаційної мережі шляхом заміни несправних ОМ або шляхом реконфігурації системи.

Слід зазначити, що реалізація представленого способу самодіагностування має ряд серйозних труднощів. При роботі телекомунікаційної мережі за призначенням складно реалізувати жорсткий розклад перевірок, так як в даному випадку процедура самодіагностування є фоною по відношенню до робочих алгоритмів функціонування модулів мережі. При цьому в системі можливі очікування для проведення призначених елементарних перевірок, і час діагностування телекомунікаційної мережі 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 мережі. Одним із суттєвих недоліків даного способу самодіагностування є обов'язковий облік параметра t . Параметр t визначається як найбільша кількість несправних ОМ в мережі, при якому можна довіряти отриманому синдрому, а, отже, діагностувати систему.

В роботі [2] доведено, що систему неможливо діагностувати при:

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

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 телекомунікаційної мережі. Сутність її полягає в наступному:

1) структура перевірочних зв'язків у мережі гнучка; елементарні перевірки в мережі 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 телекомунікаційної мережі. Результати досліджень показали, що в більшості випадків немає необхідності досягати призначених повних жорстких структур, а можна робити діагностування з тією ж ймовірністю меншим числом перевірок, за рахунок чого досягається вигравш 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 телекомунікаційної мережі 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 телекомунікаційної мережі 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 мережі, 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 мережі 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 телекомунікаційної мережі задається перед початком виконання процедури самодіагностування. У цьому випадку елементарні перевірки в мережі проводяться до тих пір, поки не буде досягнута задана достовірність.

Оперативне самодіагностування дозволяє визначати 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 мережі.

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

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

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

Використання даних діагностичних моделей телекомунікаційної мережі дозволяє описати поточні структури 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:

$$C_2 = 5, \quad C_3 = 5, \quad C_4 = 5.$$

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 наступним чином. Необхідно розглянути модифіковану матрицю суміжності ДГ A_m , в якій по головній діагоналі в i -тому рядку стоять "1", якщо i -тий ОМ виробляє хоча б одну перевірку, і "0" – в іншому випадку. Для ДГ (Рис. 1) модифікована матриця суміжності має наступний вигляд:

$$A_m = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

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

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

де a_{ij}, a_{kj} – елементи матриці A_m .

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):

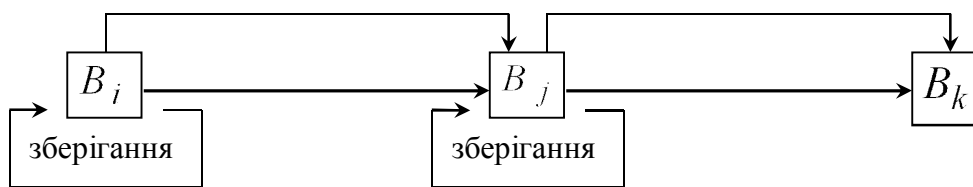


Рис. 3. Спосіб умовної передачі діагностовано інформації

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 мережі. 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_1 в цій достатній підструктурі буде справним.

Ймовірності цих подій визначаються таким чином:

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

де C_i – числові характеристики поточної структури перевірочних зв'язків; C_{ni} – кількість комбінацій з n по i ; i – потужність підмножини X_1 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 телекомунікаційної мережі в будь-який момент часу:

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

Одним з головних завдань оперативного самодіагностування є визначення моменту часу початку виконання алгоритму. Принаймні проведення елементарних перевірок в мережі, ймовірність видачі результату самодіагностування P_{BP} згідно (1) 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 мережі і почати обробляти синдром, тобто виконувати алгоритм самодіагностування. Отже, час початку алгоритму діагностування визначається згідно наступного виразу:

$$t_{поч.diag.} = t\{P_{BP} > P_{OPT}\}. \quad (2)$$

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 (2). 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 мережі. Після виконання алгоритму самодіагностування можливі два результати:

- ОМ видає результат технічного стану телекомунікаційної мережі;
- ОМ не видає стан телекомунікаційної мережі, при цьому видається команда на продовження накопичення елементарних перевірок.

Після видачі результату самодіагностування здійснюється відновлення працездатності телекомунікаційної мережі шляхом відключення з мережі несправного модуля і покладання розв'язуваних ним завдань на решту справних модулів. Після цього вся телекомунікаційна мережа продовжує функціонувати за призначенням і, паралельно, виконується оперативне самодіагностування з меншим числом ОМ.

Висновки. Пропонована стратегія оперативного самодіагностування може знайти застосування не тільки в телекомунікаційних мережах, 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 стійкість телекомунікаційних мереж та їх систем діагностування, яка буде здатна виявляти несправності при відмовах в самих засобах контролю за рахунок використання “блюкаючого” ядра. Крім того, підвищить готовність ОМ до виконання основних функцій за рахунок діагностування їх технічного стану під час функціонування за призначенням. Дозволить зменшити час між моментом виникнення несправності і моментом її виявлення за рахунок постійної участі модулів у процедурі діагностування.

Література

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. Metze, H. T. Chien // IEEE Trans. Elektron. 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. – Том 17, №3. – С. 68-75.
4. Обідін Д. М. Проблема забезпечення функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом літальних апаратів / Д. М. Обідін, С. М. Неділько // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – № 3 (31). – С. 197-200.
5. Барабаш О. В. Алгоритм самодіагностування технічного стану вузлів комутації інформаційних систем / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // Сучасний захист інформації. – 2014. – № 2. – С. 114-121.
6. Барабаш О. В. Модель бази знань інтелектуальної системи управління високошвидкісного рухомого об'єкта на основі її верифікації / О. В. Барабаш, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 5(121). – С. 3-6.

Дата надходження в редакцію: 08.10.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. О. В. Барабаш