

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

УДК 681.518

С. І. Перевозніков, д. т. н., проф.;

В. С. Озеранський;

А. В. Снігур, к. т. н.

## АЛГОРИТМІЧНІ ОСНОВИ І КРИТЕРІЇ ФОРМУВАННЯ КОМПОНЕНТНИХ СТРУКТУР ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ

*Розглянуто питання формалізації процесів побудови компонентних структур для систем внутрішньосхемного діагностування цифрових пристроїв. Запропоновано алгоритмічні основи моделювання подібними структурами на основі введених критеріїв формування компонентних відносин.*

### Вступ

Застосування декомпозиційного підходу до тестування цифрових пристроїв (ЦП) виправдовується (особливо в умовах виробництва) щоразу, коли складну задачу пошуку несправностей намагаються представити розв'язанням ряду простих (менш трудомістких) задач шляхом електричного формування структури об'єкта дослідження у вигляді сукупності взаємозв'язаних фрагментів схем для їх наступного тестування. При цьому економляться не тільки інтелектуальні ресурси для підготовки процедур діагностування, але й час реалізації спрямованого пошуку виробничих дефектів у цехових умовах [1].

### Постановка задачі дослідження

В статті пропонується розв'язання задачі знаходження формальних умов електричного розбиття схем цифрових пристроїв щодо їх тестування, а також вибір декомпозиційних критеріїв формування структур об'єктів досліджень.

### Основні характеристики декомпозиції ЦП

Процес розбиття об'єкта починається з визначення основних характеристик декомпозицій об'єкта, а саме:  $\lambda$  — глибини покомпонентного діагностування ЦП, ступеня декомпозиції  $p$  і складності фрагментів схем, які формуються.

Так, основні характеристики розбиття ЦП взаємозв'язані такими формальними залежностями:

$$N = \sum_{i=1}^z i a_i = \lambda + \Delta,$$

де  $a_i$  — кількість компонентів  $\lambda$ -структури складністю  $i$ , а також справедливі рівності  $p = a_1 + a_2 + \dots + a_h$  і  $\lambda = p + \Delta - \delta$  ( $h$  — номер останнього елемента ряду  $N$  з максимальною складністю  $z = \max(i)$ ;  $\Delta$  — число перетинань компонентів;  $\delta$  — характеристика повноти компонентів, згідно з [2, 3]). Введемо для аналізу структур ряд понять і визначень.

**Визначення 1.** Складним (простим) компонентом  $V_i \in V$  будемо вважати фрагмент схеми, для якого  $|V_i| > 2$  ( $|V_i| = 2$ ), де  $V$  — множина компонентів  $\lambda$ -структури.



*Крок 3.* Згенерувати розбиття ВПЛ-зв'язків  $\phi(A_i^i, a - i) = (B_i^i, B_i^{i+1}, \dots, B_i^a)$ , де для будь-якого  $j \in \overline{1, a}$  виконується  $B_i^{i+j} \geq B_i^{i+j-1}$ ;

*Крок 4.* Призначити для  $j$ -го елемента  $A_{i+1}^j := A_i^j - B_{i+1}^j$ , де  $j \in \overline{1, a}$ , а також справедлива нерівність  $A_i^j - B_{i+1}^j \geq 0$ ;

*Крок 5.* Сформувати відносини множиною  $A_{i+1} = (A_{i+1}^{i+1}, A_{i+1}^{i+2}, \dots, A_{i+1}^a)$ , де виконується умова.

Фактично реалізація відносин між складними компонентами формально представляє собою операцію покрокового віднімання генерованого числа зв'язків будь-якого складного компонента (компонентів) від їх загального значення (згідно з алгоритмом): порядок призначення ВПЛ-ланцюгів між компонентами суттєво впливає на кінцевий результат. При цьому враховується властивість.

**Властивість 2.** Для будь-якого елемента  $A_i^j \in A_i$  множини зв'язків (чисел) розбиття виконуються співвідношення  $A_i^j \leq \sum_{k \neq j}^a A_i^k$ .

Реалізація властивості 2, фактично, «фільтрує» такі варіанти числового представлення зв'язків, які відповідають умовам формування структур з узгодженими взаємовідносинами компонентів. Причому, оперуючи будь-якими множинами  $A_i \in A$  як числами, необхідно враховувати загальні обмеження таких представлень щодо операцій визначення ВПЛ-ланцюгів

$$A_i^j (B_i^j) \leq 9 \text{ (верхня границя)} \text{ і } A_i^j (B_i^j) \geq 1 \text{ (нижня границя)},$$

де позика чисел в операції віднімання не потрібна. При цьому одна з найпростіших  $\lambda$ -структур існує при розбиванні, наприклад,  $\phi(2s', a) = \phi(4, 3) = (2, 1, 1)$ , має вигляд на рис. 2, де  $2 \bmod 2 = (1 + 1) \bmod 2$  для множини  $(2, 1, 1)$  чисел, а операція  $\phi(A, B) = (A_1, A_2, \dots, A_B)$  — розбиття будь-якого числа  $A$  на  $B$  доданків, які представляють собою ескіз міжкомпонентних зв'язків (показано відрізками).

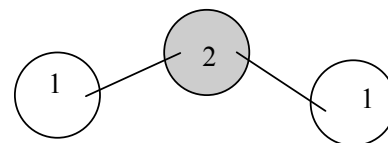


Рис. 2. Ескіз  $\lambda$ -структури

Так, процес формування структур може вважатися успішно закінченим, якщо, наприклад, на  $i$ -й ітерації процедури розбиття виконується умова рівності сум елементів:  $(A_i^{i+1} + A_i^{i+2} + \dots + A_i^a) = A_i^i$ , що свідчить про всі задіяні зв'язки, які генеровані між складними компонентами. В протилежному випадку, якщо є «нереалізовані» ВПЛ-ланцюги, то такі компонентні відносини побудувати неможливо (і подібні структури не існують).

**Твердження 1.** На кожній  $i$ -й ітерації алгоритму формування  $\lambda$ -структури з характеристиками  $\langle p = a, s' = \Delta \rangle$  виконуються умова

$$A_i^i \bmod 2 = (A_i^{i+1} + A_i^{i+2} + \dots + A_i^a) \bmod 2. \tag{2}$$

*Доведення.* Припустимо, що умова 2 не виконується, а  $A_i^i$  — нехай парне (непарне) число. Згідно з кроком 4 алгоритму маємо  $(A_i^{i+1} + A_i^{i+2} + \dots + A_i^a) > A_i^i$ , де число  $A_i - A_i^i > 0$  — вважаємо непарним (парним). В процесі віднімання завжди існує така ітерація  $i > 0$ , результатом якої є: або  $(a - i) = 0$  при  $A_i^i > 0$ , або  $(a - i) > A_i^i$ , при яких наступне розбиття числа  $A_i^i$  не можливе:  $\phi(A_i^i, a - i) = 0$ . Навпаки, при виконанні умови 2, коли від парних (непарних) віднімаються парні (непарні) числа, завжди існує варіант представлення числа  $\phi(2s', a)$ , яке здійснюється за умовою  $(A_i^{i+1} + A_i^{i+2} + \dots + A_i^a) = A_i^i$ . *Твердження доведено.*

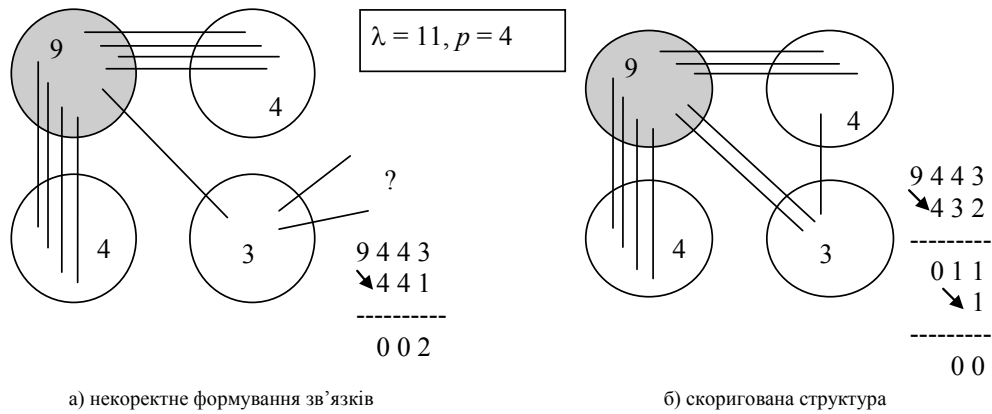


Рис. 3. Приклади формування ескізів  $\lambda$ -структур

На рис. 3 показано приклади і розрахунки (згідно з алгоритмом) структур: на рис. 3а розбиття, якого не існує (де  $\varphi(2s', a) = \varphi(20, 4) = (9, 4, 4, 3)$ ), на рис. 3б — скоригована структура. При цьому, якщо генерується структура з характеристиками, наприклад,  $\varphi(2s', a) = \varphi(12, 3) = (2, 8, 2)$ , то вона «відфільтровується» як неперспективний варіант розбиття згідно з властивістю 2 (для якої маємо:  $8 > (2 + 2)$ , хоча  $8 \bmod 2 = (2 + 2) \bmod 2$ ).

Аналіз процесів формування компонентних відносин передбачає введення критеріїв узгодженості ВПЛ-зв'язків, як ознаки закінчення алгоритму.

**Критерій 1.** Відносини вважати сформованими, якщо на  $i$ -й ітерації алгоритму виконується рівність

$$A_i^i = \sum_{k=i+1}^a A_i^k, \tag{3}$$

де  $A_i^i$  — число (зв'язки), яке розбивається на доданки (визначаються міжкомпонентними ланцюгами як варіант структури, яка формується).

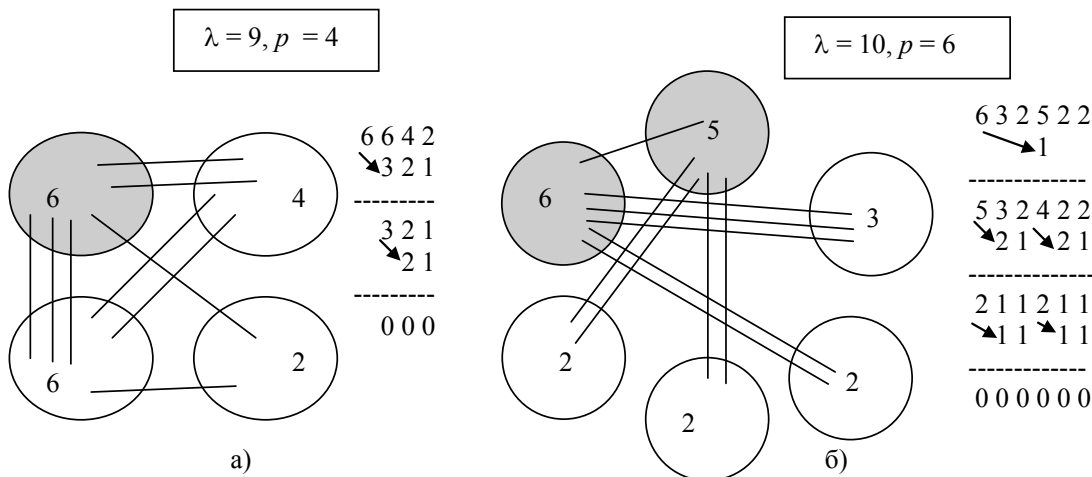


Рис. 4. Формування структур за критерієм 1

Приклад такої структури за критерієм 1 показано на рис. 4а. На рис. 4б показано формування зв'язків, коли формується декілька подібних груп (принаймні дві) розбиття за умовами узгодженості ВПЛ-ланцюгів.

**Критерій 2.** Побудову компонентної структури завершено, якщо на  $i$ -й ітерації алгоритму сформовано множину елементів розбиття, для яких виконується умова

$$A_i^i = A_i^{i+1} = \dots = A_i^a, \tag{4}$$

де  $(a - i + 1) \bmod 2 = 0$ .

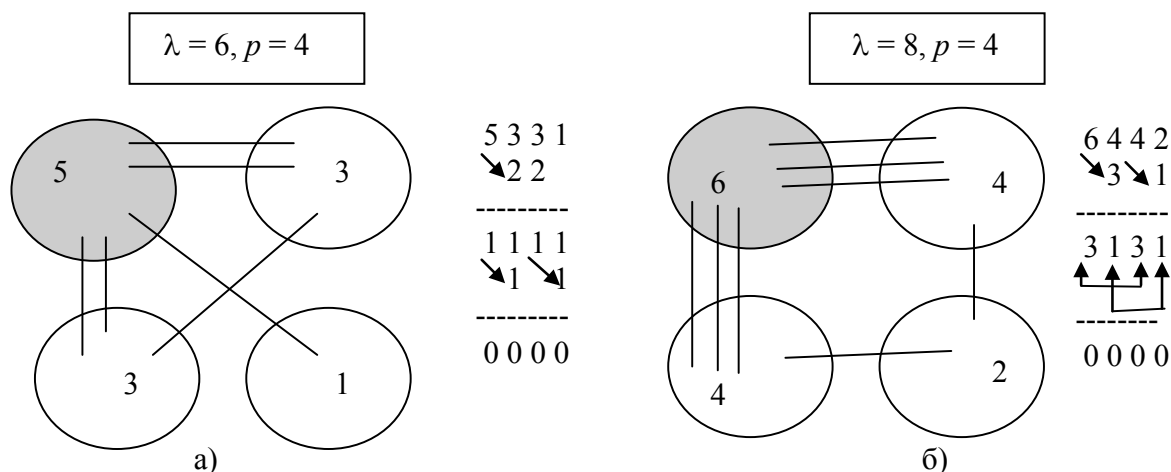


Рис. 5. Формування структур за критерієм 2

На рис. 5а наведено приклад формування структури за критерієм 2. На рис. 5б показано особливості процесу визначення структури, коли формуються декілька груп (принаймні дві групи) парних чисел (зв'язків) за умовами 4. Але такий підхід має невизначеність призначення зв'язків, коли групи розбиття чисел перетинаються і, при цьому, втрачається контроль за розподіленням ВПЛ-ланцюгів між компонентами, які формуються.

Але використання критерію 2 для формування структур має свої особливості щодо формальних правил їх побудови, які передбачають зберігання (фіксацію) інформації на кожній ітерації упорядкованого розбиття множини чисел  $\lambda' \in \lambda$ . При цьому весь різновид існуючих структур міститься між структурою, яка представляє ланцюг елементів і структурою з максимальним числом перетинів.

**Наслідок 1.** За виконання умови 4, максимальне  $k$  число пар окремих компонентів на  $i$ -й ітерації складає

$$k = \left\lfloor \frac{2\lambda^1}{A_i^i} \right\rfloor. \tag{2.12}$$

Так, для структури на рис. 6а число окремих підструктур дорівнює  $k = 2$ .

**Наслідок 2.** Якщо виконується умова 4, то існує максимальна зв'язана структура, характеристики якої відповідають повному графу.

На рис. 6б показано ескіз повного графа (компонента) розбиття.

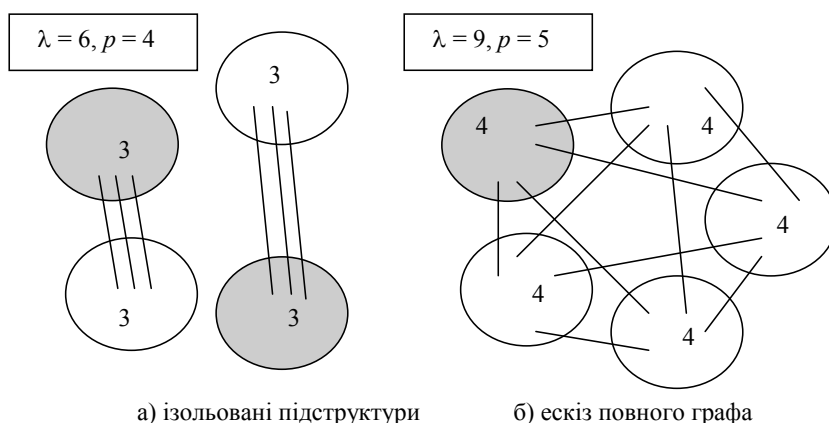


Рис. 6. Ескізи  $\lambda$ -структур

Властивості і основні залежності показників формування компонентних структур забезпечують відносини між фрагментами схем, визначення яких закладено в характеристику  $N$ . Так число вироджених зв'язків у сформованій структурі узгоджується з кількістю простих  $a_2$  компонентів і показником  $\delta$  ряду  $N$ . При цьому число подібних ланцюгів  $s'$  визначає компактність (найбільший

безпосередній перетин) складних фрагментів схем. Значення характеристики  $s'$  можна визначити алгоритмічним шляхом під час формування матриці компонентних зв'язків. При цьому всі ненульові елементи матриці замінюються одиницями, а сума останніх в матриці, коректується таким чином:

$$s' = \left(\frac{1}{2}\right) \sum_i \sum_j m_{i,j},$$

де  $m_{i,j} \in \{0, 1\}$ ,  $i, j \in \overline{1, p}$ , а також приймається, що тільки один вироджений ланцюг може з'єднувати два будь-яких компонента структури.

Розроблені механізми формування міжкомпонентних відносин лежать в основі програмного забезпечення систем покомпонентного діагностування ЦП.

За їх допомогою може здійснюватись як декомпозиційне (зверху вниз), так і композиційне (знизу вверху) формування  $\lambda$ -структур в межах заданих обмежень. Якщо умови формування структури не виконуються, то вихідні дані коректуються і процес повторюється.

### Висновки

1. Знайдено формальний алгоритм формування компонентних відносин (зв'язків між складними елементами розбиття), який лежить в основі процедурного підходу до фрагментування цифрових пристроїв.

2. Вибір остаточних варіантів електричного розбиття цифрових об'єктів (або їх відхилення, як некоректних утворень) серед множини згенерованих структур доцільно здійснювати на основі запропонованих критеріїв.

3. Показано, що близькими до «компактних» структур є такі відносини компонентних утворень, характеристики яких збігаються з характеристиками повних графів при діагностуванні цифрових об'єктів визначеної глибини.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Перевозніков С. І. Стратегії прискореного діагностування цифрових пристроїв / С. І. Перевозніков, М. А. Очуров, В. С. Озеранський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 1. — С. 44—55.
2. Перевозніков С. І. Аналіз свойств и характеристики компонентных структур цифровых устройств для систем внутрисхемного тестового диагностирования / С. И. Перевозников // Электронное моделирование. — 2001. — Т. 23, № 3. — С. 70—78.
3. Перевозніков С. І. Разработка программного обеспечения для систем покомпонентного диагностирования цифровых устройств / С. И. Перевозников, Н. А. Биличенко, В. С. Озеранский [та ін.] // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2003. — № 2. — С. 132—138.

Рекомендована кафедрою обчислювальної техніки

Надійшла до редакції 9.09.08  
Рекомендовано до друку 9.10.08

**Перевозніков Сергій Іванович** — професор, **Озеранський Володимир Сергійович** — інженер; **Снігур Анатолій Васильович** — старший викладач.

Кафедра обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет