

# ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

---

УДК 518.681

**С. І. Перевозніков, д-р. техн. наук, проф.;**  
**Л. В. Крупельницький, канд. техн. наук, доц.;** **В. С. Озеранський, асп.**

## **ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ КОМПОНЕНТНИХ СТРУКТУР ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВНУТРІШНЬОСХЕМНОГО ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ**

*Проаналізовано особливості формування компонентних структур на основі міжфрагментних відносин схем цифрових пристроїв (ЦП). З'ясовано, що в процесі побудови підсхем тестування спостерігаються випадки наявності елементів з незадіяними зв'язками. Такі ситуації змушують прийняти рішення про повторне формування компонентів або включення таких елементів до складу кінцевої структури розбиття схеми ЦП. В статті розглянуто властивості гіперграфів, як моделей компонентних структур, розроблено механізми інтеграції (деінтеграції) елементів з незадіяними зв'язками до складу кінцевої структури тестування. Запропоновано критерії оцінки таких можливостей для формування підструктур схем ЦП.*

### **Вступ**

Можливості систем внутрішньосхемного діагностування (СВД) цифрових пристроїв розкриваються зі збільшенням множини контактних точок всередині схеми ЦП. Найбільший ефект спостерігається за рівності кількості контактних точок числу друкованих провідників ЦП. У такій ситуації актуальним питанням стає декомпозиція схеми ЦП зі збереженням відповідної глибини діагностування. Під покомпонентною (пофрагментною) глибиною діагностування ( $\lambda$ ) ЦП будемо розуміти число підмножин елементів ЦП, створених перетином компонентів розбиття, з точністю до яких здійснюється декомпозиційний підхід щодо пошуку несправностей.

Дослідженням доведено, що кожне розбиття схеми пристрою на фрагменти в умовах повного або обмеженого доступу характеризується числом параметрів, які передбачають деяку множину різноманітних структур, що являють основу для подальшого формування кінцевих компонентних відносин з метою скорочення загального часу тестування пристроїв [1]. Особливо такий підхід актуальний в умовах серійного виробництва ЦП.

*Метою дослідження* є автоматизація процесу формування компонентних структур для систем внутрішньосхемного діагностування цифрових пристроїв на основі аналізу формальних умов, які дозволяють об'єднувати елементи в окремі штучні підструктури. Це дає можливість досягти максимальної глибини діагностування, заощаджуючи загальний час пошуку несправностей.

### **Постановка задачі**

Як показує світова практика, особливе місце у виробництві сучасного електронного обладнання, займають системи внутрішньосхемного діагностування, які успішно зарекомендували себе при середніх та великих обсягах виробництва ЦП. Такі системи характеризуються простотою виконання та мобільністю налаштування на постійні зміни типів об'єктів тестування. Орієнтованість засобів такого класу на виробництво дозволяє виявляти переважну кількість несправностей з максимальною глибиною пошуку, що досягається можливістю конструктивного доступу до внутрішніх контрольних точок друкованих плат [1].

Однією із задач, які потрібно при цьому розв'язати, є задача розбиття схем ЦП на певні складові частини (компоненти). В загальному випадку задачі декомпозиції схем ЦП формально зводяться до задач декомпозиції графів. Але при цьому не існує стандартних способів

---

© С. І. Перевозніков, Л. В. Крупельницький, В. С. Озеранський, 2012

розбиття графів, які застосовуються під час опису схем для їх тестування. Наприклад, такі методи, як метод Баранова, метод Закревського, метод повного перебору, паралельно-последовний метод використовують для декомпозиції існуючих (заданих) графів, та спрямовані на оптимізацію міжблокових зв'язків [2].

Метод, який пропонується в статті, базується на формуванні ряду, що містить складність і кількість компонентів та відповідає умовам коректності розбиття схем ЦП із заданою глибиною діагностування.

Аналіз процесів розбиття показав, що негативним наслідком фрагментації схеми будь-якого ЦП може бути втрата глибини діагностування. Це пояснюється можливою незадіяністю одного або декількох зв'язків складних компонентів.

*Задачею цієї статті* є розробка методу коригування структури графа без порушення основних міжкомпонентних відносин.

### Розв'язання задачі

Для зручності описання і аналізу введемо відповідні визначення для підмножин розбиття [3, 4]. При цьому показано [3], що найадаптованішим апаратом відображення особливостей компонентних структур ЦП в задачах їх формування є графові моделі, зокрема, гіперграфи. Так, якщо будь-яку структуру представити у вигляді  $G^*(V^*, E^*)$ , де  $V^* = \{v_i \mid i \in \overline{1, n}\}$  – множина вершин, що відповідають елементам пристрою на принциповій схемі, а  $E^* = \{e_j \mid j \in \overline{1, m}\}$  – множина дуг, що відображають зв'язки між елементами. Формування будь-якої компонентної структури пристрою, як правило, виконується за умов певних фізичних обмежень, формальних критеріїв і закінчується перетворенням вихідного графа  $G^* \rightarrow G$ , де  $G(V, E)$  – гіперграф, для кожного ребра якого  $e_i \in E$  можна поставити у відповідність один із сформованих фрагментів схем  $G = \{G_1, G_2, \dots, G_p\}$ ,  $|E| = p$ , за відповідної умови їх об'єднання  $\bigcup_{i=1}^p V_i = V$ . При цьому структура розбиття графа  $G$  має бути скорегована відповідно до низки вимог і обмежень [4, 5].

Для компонентних структур  $\lambda$ -розбиттів [3] вершин графа  $G^*$  (коли  $i \neq j$ , де  $i, j \in \overline{1, p}$ , а також  $V_{i,j} = V_i \cap V_j$ ), виконується умова  $(\forall G_i, G_j \in G) \left( (V_i \neq V_j) \Rightarrow ((V_{ij} = \{\emptyset\}) \vee (|V_{ij}| = 1)) \right)$ . Якщо для пари компонентів  $G_i, G_j \in G$  (де  $i, j \in \overline{1, p}$ )  $\lambda$ -розбиттів вершин графа  $G^*$  виконується нерівність  $V_{ij} \neq \{\emptyset\}$ , то справедливо висловлювання  $(\exists k \in \overline{1, p}) (V_{ij} \cap V_k \neq \{\emptyset\})$ , де  $i \neq j \neq k$ .

Для будь-якого фрагмента  $G_i \in G$ , при  $\lambda$ -розбитті вершин графа  $G^*$  з параметрами  $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ , виконується умова  $\delta \in \{0, 1\}$ , а також  $(\exists G_i, G_j \in G) \left( (G_i \subset G_j) \vee (G_j \subset G_i) \right)$ , де  $i, j \in \overline{1, p}$  [4].

Під неповним ( $\delta > 0$ ) компонентом будемо розуміти фрагмент розбиття, який не має ( $\Delta = 0$ ) спільного елемента з іншими фрагментами розбиття.

Під повним ( $\delta = 0$ ) компонентом будемо розуміти фрагмент розбиття, який має ( $\Delta \neq 0$ ) спільний елемент з іншими фрагментами розбиття.

Під термінальним компонентом будемо розуміти двоелементний повний фрагмент ( $t$ ), який входить до складу будь-якого НПЛ.

Під ізольованим компонентом будемо розуміти фрагмент з одним елементом із загальної кількості  $\lambda$  множини вихідних елементів.

Під складним компонентом будемо розуміти  $i$ -й фрагмент розбиття, число елементів якого складає  $|V_i| \geq 3$ .

Під простим компонентом будемо розуміти  $i$ -й фрагмент розбиття, число елементів яко-

го складає  $|V_i| \leq 2$ .

Введемо також ряд структурних об'єднань елементів, які створюють саме взаємовідносини (зв'язки (s)) складних компонентів.

Послідовність простих компонентів, що зв'язують складні фрагменти, назвемо внутрішнім простим ланцюгом (ВПЛ).

Ланцюг простих компонентів, що зв'язує складний і термінальний компоненти назвемо напівпростим ланцюгом (НПЛ).

Приклад сформованої компонентної структури наведено на рис. 1, де  $G_1, G_{10}, G_{14}, G_{17}, G_{20}$  – складні компоненти;  $G_{15}, G_{16}, G_{18}, G_{11}, G_{12}, G_{13}, G_2, G_3, G_4, G_5, G_7, G_8, G_9$  – внутрішні прості ланцюги;  $G_6, G_{19}$  – напівпрості ланцюги;  $G_{21}$  – ізольований компонент.

При цьому основні характеристики декомпозиції будь-якого ЦП зв'язані залежностями

$$\lambda = p + \Delta - \delta; \quad t = a_2 - \delta_2; \quad s = \Delta - a_2,$$

де  $\delta$  – загальне число неповних компонентів розбиття;  $\Delta$  – загальне число перетинів компонентів;  $a_2$  – загальне число простих компонентів;  $\delta_2$  – число неповних (простих) фрагментів схем;  $t$  – кількість термінальних ланцюгів графа [5].

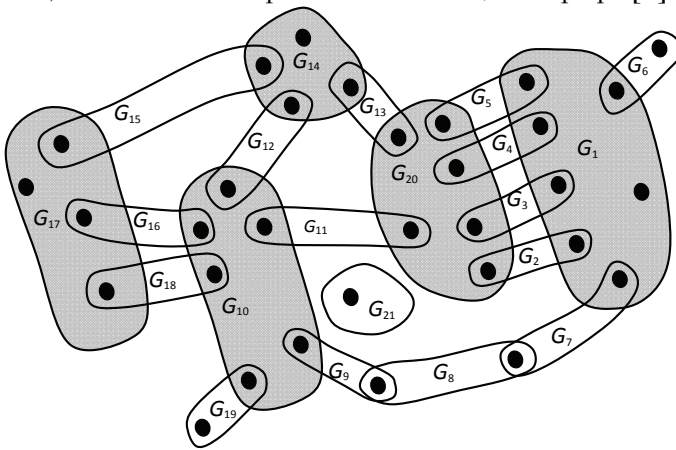


Рис. 1. Приклад компонентної структури для  $\lambda = 32$

Основою формування компонентних відносин (а саме і структур розбиття) є генерація різноманітних сполучень компонентів з відповідними складностями і узгодженістю (завдяки перетину) їх із заданою глибиною діагностування ЦП ( $\lambda$ ). При цьому досліджується ряд розбиття

$$N = \sum_{i=2}^n i \cdot a_i = \lambda + \Delta = p + 2 \cdot \Delta - \delta,$$

для якого виконується співвідношення  $p = a_2 + a_3 + \dots + a_n$ , де  $n$  – таке максимальне число  $i$ , для якого  $a_i \neq 0$ . Аналіз

модельовання процесів генерації показав, що побічним результатом фрагментації схеми будь-якого ЦП може бути втрата глибини діагностування. На рис. 2, як приклад, показані дві структури розбиття: одна не коректна (рис. 2а), а друга – коректна (рис. 2б). Обидві за однакових характеристик декомпозиції. Некоректність першої структури пояснюється незадіяністю одного складного (рис. 2а) компонента ( $(|V_a| = 3)$ ) і двох його зв'язків.

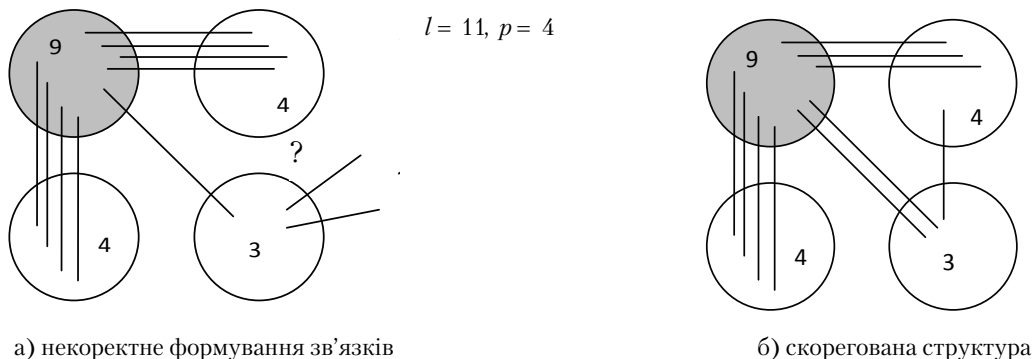


Рис. 2. Ескізи структур

Зі збереженням створених відносин необхідно знайти механізм і умови інтегрування незадіяних компонентів в структуру сформованого графа  $G$ . При цьому основну роль в перетворенні графа відіграє наявність множин неповних простих компонентів, а також неповних

складних підструктур. Операція одноелементного приєднання має такий вигляд

**операція  $\alpha(\lambda+)$ .**

Крок 1. Зафіксувати в структурі графа  $G$  два компоненти  $G_a, G_b \in G$ , для яких  $S_{ab} \neq \emptyset$ , де  $G_a$  (або  $G_b$ ) – пустий (непустий) компонент (або разом пусті);

Крок 2. В структурі компонента  $G_b$  (або  $G_a$ ) створити  $t + 1$  термінальний компонент графа  $G$ , який являє собою вибраний ланцюг  $S_{ab}$ ;

Крок 3. Додати ядро  $v_a$  (або  $v_b$ ) в компонент  $G_a$  (або  $G_b$ ).

Здійснюючи послідовно кроки операції  $\alpha(\lambda+)$ , можна знайти глибину інтегрування ( $k$ ) елементів в задану структуру графа  $G$ : число елементів, які можна вводити до складу кінцевого графа без зміни значень його характеристик (складу і складності компонентів).

Для графа  $G$  з параметрами  $\langle p, \Delta, \delta \rangle$  із заданою глибиною діагностування  $\lambda$  інтеграційний показник  $k$  визначається як

$$k = \min\{\delta_1, \delta_2\}. \quad (1)$$

Перетворення графа  $G$  з введенням будь-якого елемента  $v_c$  до його структури здійснюється переводом простого компонента (зв'язок  $S_{ab}$ ) із ВПЛ ланцюга в ПНЛ ланцюг (створений кроком 2) з одночасним додаванням ядра ( $v_c$ ) (крок 3) в пустий компонент  $G_a$  (або  $G_b$ ). Число таких пар ( $S_{ab}$  і  $G_a$  (або  $G_b$ )) в межах всього графа визначається меншим із чисел  $\{\delta_1, \delta_2\}$ . При цьому, при незмінних параметрах розбиття графа  $G$ , кінцева глибина діагностування визначається як  $\lambda^* = \lambda + k$ .

На рис. 3 наведено приклад перетворення графа  $G$  з введенням до його складу елементів. Фактична глибина діагностування (з незмінними компонентними відносинами і  $k = 2$ ) змінилася з  $\lambda = 9$  до  $\lambda = 11$ .

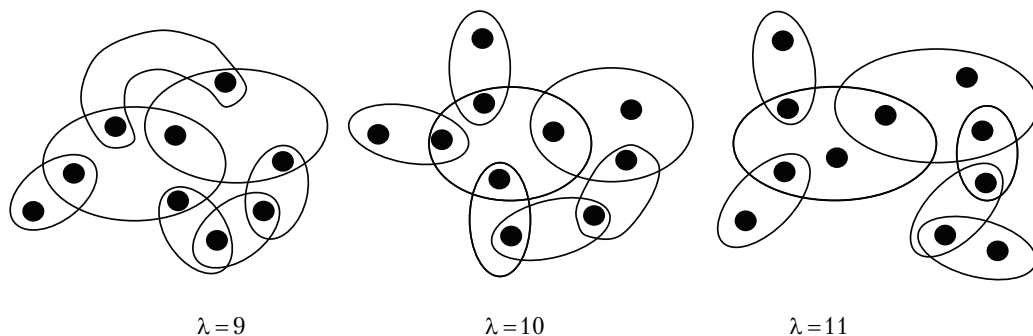


Рис. 3. Приклад операції інтеграції  $\alpha(\lambda+)$

Слід відмітити, що на практиці виникають задачі, у яких аналізується властивість графа  $G$  зберігати свої структурні особливості з виведенням з його складу елементів. Механізм перетворення вихідної структури графа базується на відповідній операції і має такий вигляд:

**операція  $\alpha(\lambda-)$ .**

Крок 1. Зафіксувати компонент  $G_a \in G$ , в структурі якого є термінальний компонент  $G_b \in G_a$ ;

Крок 2. Зафіксувати повний компонент  $G_c \in G$  ( $G_c \neq G_a$ );

Крок 3. Вилучити ядро  $v_b$  компонента  $G_b$  і об'єднати компонент  $G_b$  з ядром  $v_c$  компонента  $G_c$ .

Реалізуючи операцію  $\alpha(\lambda-)$ , можна знайти здатність будь-якого гіперграфа зберігати свої характеристики у разі втрати елементів: глибину деінтеграції ( $d$ ) з незмінним складом і складністю компонентів.

Для графа  $G$  з параметрами  $\langle p, \Delta, \delta \rangle$  та заданій глибини діагностування  $\lambda$  деінтеграцій-

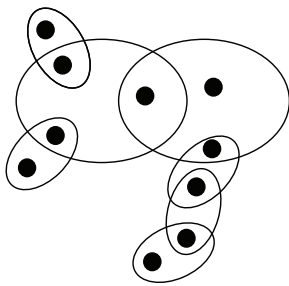
ний показник  $d$  визначається як

$$d = \min \{a - \delta_a, a_2 - \delta_2\}. \quad (2)$$

У цьому випадку перетворення графа  $G$  передбачає перевід термінального компонента  $G_b$  без ядра (крок 1, 3) із ПНЛ ланцюга в ВПЛ ланцюг, який створюється об'єднанням ядра  $v_c$  повного компонента  $G_c$  і без'ядерного компонента  $G_b$  (крок 3). Кількість таких випадків залежить від наявності мінімального числа пар термінальних компонентів ( $t$ ) і повних підструктур ( $a - \delta_a$ ) графа  $G$ . При цьому глибина діагностування ( $\lambda^*$ ) визначається як  $\lambda^* = \lambda - d$ .

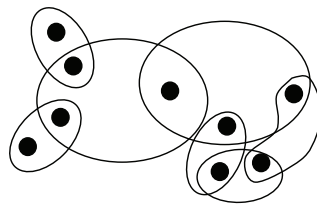
На рис. 4 показано деінтеграційне перетворення графа  $G$  при відніманні елементів. При цьому, показник деінтеграції графа  $G$  дорівнює  $d = 1$ , а глибина діагностування  $\lambda^* = 9$ .

На рис. 5 наведено приклад структури, для якої показники глибини інтеграції і деінтеграції дорівнюють нулю. В даному випадку маємо:  $k = \min\{0, 2\} = 0$ ,  $d = \min\{4, 0\} = 0$ .



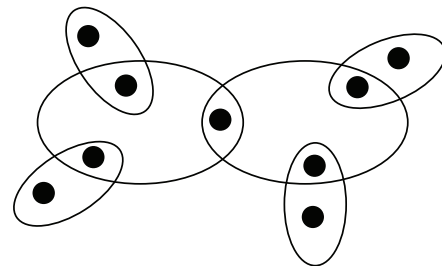
$\lambda = 10$

Рис. 4. Приклад операції деінтеграції  $\alpha(\lambda-)$



$\lambda = 9$

Рис. 5. Вироджений випадок, коли  $\lambda^* = 9$  ( $k, d = 0$ )



### Висновки

З незадіянимив процесі формування компонентними структурами зв'язків елементів проаналізовані і знайдені умови часткової втрати показника глибини діагностування ЦП. Введені критерії оцінки можливостей графа  $G$ , який аналізується, перед початком перетворення його структури. Фактично виявляється властивість графа зберігати структурну стабільність у разі віднімання або додавання елементів до його складу. Якщо такі операції не змінюють характеристик графа  $G$  ( $k, d = 0$ ), то або втрачається глибина пошуку несправностей, або генерується новий варіант розбиття.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Городецкий Ами. Снова о внутрисхемном тестировании / Ами Городецкий // Компоненты и технологии. — 2011. — № 7. — 3 с.
2. Багитцев Д. И. Задачи декомпозиции графов. / Д. И. Багитцев Н. В. Старостин. — Н. Новгород : ННГУ. — 2001. — 14 с.
3. Аналіз композиційного підходу формування штучних фрагментів цифрових схем, як об'єктів внутрішньосхемного діагностування / [С. І. Перевозніков, Н. О. Біліченко, М. А. Очуров, В. С. Озеранський] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 2(9). — 6 с.
4. Перевозніков С. І. Алгоритмічні основи і критерії формування компонентних структур діагностування цифрових пристроїв / С. І. Перевозніков, В. С. Озеранський, А. В. Снігур // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 5. — 6 с.
5. Очуров М. А. Стратегії прискореного діагностування цифрових схем / С. І. Перевозніков, М. А. Очуров, В. С. Озеранський // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2008. — № 1 (11). — 12 с.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук

Стаття надійшла до редакції 14.05.12  
Рекомендована до друку 3.10.12

**Перевозніков Сергій Іванович** — завідувач кафедри, **Озеранський Володимир Сергійович** — аспірант.

Кафедра комп'ютерних наук;

**Крупельницький Леонід Віталійович** — доцент кафедри обчислювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця