

УДК 518.681

В. С. Озеранський, асп.

ФОРМУВАННЯ ШТУЧНИХ СТРУКТУР ТЕСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА ОСНОВІ АПАРАТУ ГІПЕРГРАФІВ

Відмічено основні особливості формування штучних структур схем цифрових пристроїв (ЦП) на основі апарату гіперграфів. Розглянуто додаткові властивості гіперграфів, що дозволяють ефективно описувати процес моделювання штучних структур розбиття схем ЦП. Запропоновано базові оператори реструктуризації схеми ЦП, за допомогою яких здійснюється пошук оптимальних структур розбиття.

Вступ

Відомо, що апарат графів (зокрема гіперграфів) найточніше описує особливості декомпозиційного представлення складних об'єктів дослідження з метою подальшого їх покрокового тестування. Взаємовідношення сформованих компонентів (наприклад, їх складність, характер перетинання, електрична ізолюваність підструктур тощо) значним чином впливають на порядок проведення пошукових процедур, а також формують підґрунтя для вибору ефективних стратегій діагностування. Якщо взяти за основу модель розбиття гіперграфа G пристрою, яка запропонована, наприклад, в роботі (1), то особливості такого аналізу (вибору) кінцевих компонентних структур пояснюються комбінаторним механізмом їх оцінювання.

Метою дослідження є автоматизація створення штучних підструктур та їх перетворення в процесі формування тестопридатних компонентів ЦП. Такі перетворення зручно виконувати, залучаючи апарат графів, зокрема гіперграфів, які найточніше описують структуру схеми ЦП та дозволяють ефективно використовувати свої моделюючі властивості.

Постановка задачі

Однією із задач, які потрібно розв'язувати в процесі діагностування пристроїв, є задача розбиття схем ЦП на певні складові частини (компоненти), які дозволяють скоротити загальний час пошуку несправності в таких пристроях. Але задачі тимчасової композиції схем ЦП формально зводяться до введення в структуру схеми ЦП штучних зв'язків з боку засобів діагностування. Аналіз сучасних методів діагностування показав, що не існує стандартних способів розбиття схеми ЦП, які спрощують і прискорюють процес пошуку несправностей.

Метою статті є удосконалення методу реструктуризації схеми ЦП, що базуються на використанні апарату гіперграфів.

Розв'язання задачі

В основі формального представлення структур ЦП лежить алгебраїчний ряд $N = \sum_i i \cdot a_i = \lambda + \Delta$ [1], який може відобразити, з одного боку, суму добутоків показника складності (i) кожного компонента, що генерується, на число таких фрагментів (a_i) розбиття, а з іншого боку — просту суму глибини діагностування (λ) і множини перетинів (Δ) компонентів. Обмеженнями (контролем) формування структур є отримані залежності у [2, 3], які дають можливість алгоритмічно «стежити» за змінами показників розбиття в заданих діапазонах, а також глибин діагностування пристроїв, які будуть тестуватися. Остаточний результат процесу моделювання — це аналіз і формування коректних структур в межах комбінаторного простору множини можливих варіантів їх декомпозиційного представлення. Проаналізуємо основні характеристики і можливості такого перетворення компонентних структур в процесі моделювання.

Твердження 1. В процесі формування (або усунення) двоелементних (простих) компонентів графа G виконується умова незмінності параметра повноти (δ) складних компонентів структури гіперграфа G :

$$\delta = \text{const} . \quad (1)$$

Доведення. Згідно з представленням в [3] маємо:

$$\delta = \delta_a + \delta_2 , \quad (2)$$

де δ_a (δ_2) — число відповідно пустих складних (простих) підмножин графа G під час формування (або усунення) термінальної гілки структури змінюються параметри перетворення: під час формування — $\delta_a + 1$ і $\delta_2 - 1$, а під час усунення — $\delta_a - 1$ і $\delta_2 + 1$. Підсумувавши такі показники перетворення як під час формування, так і під час усунення простих компонентів згідно з (2), отримаємо рівність (1). Твердження доведено.

На рис. 1 показаний взаємообернений процес формування і усунення термінального ланцюга графа G .

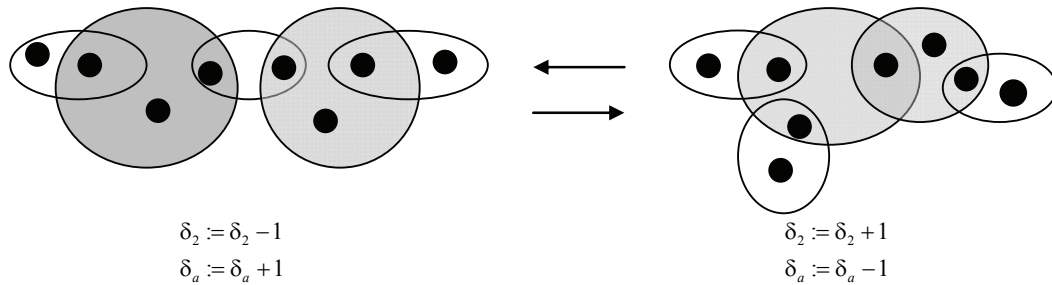


Рис. 1. Зміна характеристики повноти розбиття

Твердження 2. Для λ -структури розбиття графа G з параметрами $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ мінімальне значення характеристики перетинань Δ_{\min} визначається як

$$\Delta_{\min} = \lambda - t_{\min} - \mu_a . \quad (3)$$

Доведення. Представимо перетин компонентів як $\Delta = \lambda - p + \delta$ [2]. При цьому враховуючи, що $\delta = \delta_a + \delta_2$, і після підстановки змінних маємо вираз $\Delta = \lambda - a - a_2 + \delta_a + \delta_2$. Останню рівність згрупуємо як $\Delta = \lambda - (a_2 - \delta_2) - (a - \delta_a)$ і, замінюючи суму на число термінальних компонентів $t = a_2 - \delta_2$, а вираз $a - \delta_a$ на число ядер μ_a складних компонентів (числом a), отримаємо рівність (3). Твердження доведено.

Твердження 3. Для λ -структури розбиття графа G з параметрами $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ максимальне значення характеристики перетинів підраховується як

$$\Delta_{\max} = \lambda - t_{\max} - \mu_a . \quad (4)$$

Доведення. Відомо, що перетин компонентів представляється як $\Delta = \lambda - p + \delta$. При цьому, враховуючи рівність $\delta = \delta_a + \delta_2$ і, після підстановки змінних, маємо вираз $\Delta = \lambda - a - a_2 + \delta_a + \delta_2$. Останню рівність згрупуємо як $\Delta = \lambda - t - (a - \delta_a)$. Після цього максимальне значення характеристики перетинів $\Delta = \Delta_{\max}$, враховуючи число ядер μ_a , має вигляд (4). Твердження доведено.

Неважко помітити, що подібний аналіз для будь-якого гіперграфа доводить незмінність параметра Δ за відповідних перетворень $(\alpha_{st}, \alpha_{ts})$, як це показано на рис. 2: проміжних значень параметра Δ не існує [1, 2].

Слід відмітити, що складові параметра δ повноти компонентів λ -розбиття δ_2 і δ_a ($\delta = \delta_2 + \delta_a$) визначають існування певного діапазону числових значень в залежності від кількості і взаємозв'язків сформованих p фрагментів загальної структури представлення ЦП, де $p = a_2 + a$. Множина графів варіантів розбиття за заданих параметрів обмежується (зменшується) у випадку існування нерівності між складовими повноти компонентів. Так, наприклад, для доданка $\delta_a > a$ розбиття значення характеристики δ має коригуватися.

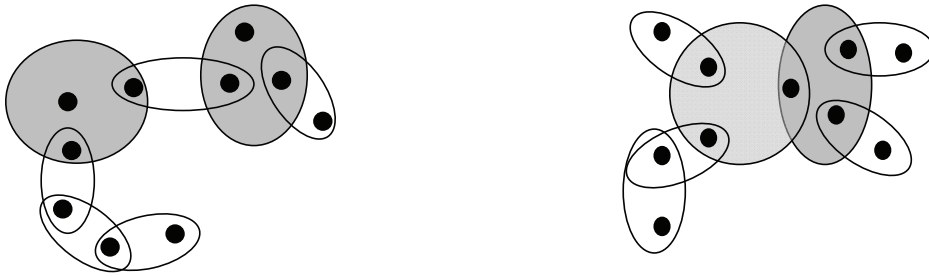


Рис. 2. Незмінність характеристики Δ для $\lambda = 10$, де $\Delta_{\max} = \Delta_{\min} = 6$

Твердження 4. Для λ -структури розбиття з параметрами $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ мінімальне значення для доданка (δ) $z = \max \{ \max \{ \delta_2 \}, \max \{ \delta_a \} \}$ корегується

$$z = \delta - \min \{ \max \{ \delta_2 \}, \max \{ \delta_a \} \} \tag{5}$$

Доведення. Нехай $\delta_2 > \delta_a$ (або $\delta_a > \delta_2$), тоді виникає ситуація, коли для $\delta_2 = 0$ (або $\delta_a = 0$) маємо $\delta > \delta_a$ (або $\delta > \delta_2$), що порушує рівність $\delta = \delta_2 + \delta_a$. Таке протиріччя усувається скороченням варіантів розбиття параметра δ графа G в процесі коригування згідно з (5). Твердження доведено.

В зв'язку з цим розглянемо варіанти представлення δ , які відображені в табл. 1 для графа G на рис. 2. У цьому випадку останній стовпчик усувається як повтор варіанта розбиття. Якщо $\delta_2 = 0$ і $\delta_a = 3$, λ -структури не існує.

Таблиця 1

δ_2	3	2	1	1
δ_a	0	1	2	2

Для скорочення варіантів розбиття характеристики Δ оцінимо її нижню та верхню границі представлення, які початково мають вигляд

$$\lambda \leq \Delta \leq 2\lambda - 1, \tag{6}$$

де нижня границя пояснюється розбиттям компонентів на число λ , які не перетинаються, а верхня — коли всі елементи двічі враховуються під час підрахунку складності компонентів (немає ядер). Такий підхід до оцінки границь передбачає повний перебір, трудомісткість якого важко оцінити.

Аналіз декомпозиційності графа G показав, що замість пошуку обмежень програмним шляхом можна скористатися особливостями існуючих структур, описання яких дає оптимальні значення параметрів. Так було встановлено, що максимальне значення перетинів компонентів властиво, наприклад, ланцюговим структурам, якщо $\Delta = \lambda - 2$ (при $\delta = \max$). Такий граф має вигляд (для $\lambda = 10$) на рис. 3.



Рис. 3. Ланцюгова структура для $\delta = 7$, $\Delta = 8$ і $\lambda = 10$

Мінімальне значення характеристики Δ спостерігається також як у ланцюгових структурах, так і у радіальних утворень. На рис. 4 показані приклади ланцюгової та радіальної структур (якщо $\delta = \min$).

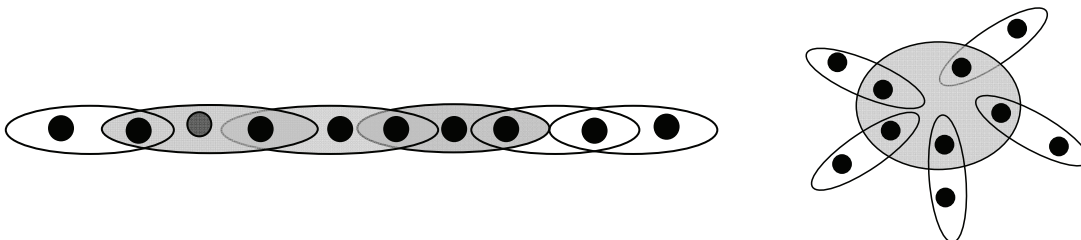


Рис. 4. Ланцюгова та радіальна структура для $\delta = 1$, $\Delta = 5$ і $\lambda = 10$

Твердження 5. У процесі формування Л-структур (або Р-структур), за заданого показника λ і параметрах $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ λ -розбиття вершин графа G^* , значення Δ мінімальне (у випадку $\Delta \leq \lambda$), якщо виконується рівність

$$\Delta_{\min} = \left\lfloor \frac{\lambda}{2} \right\rfloor. \tag{7}$$

Доведення. Доведемо рівність (7) методом математичної індукції. Покажемо, що вона справедлива для значення $\lambda = 3$. У цьому випадку отримуємо $\Delta = \lfloor \lambda/2 \rfloor = \lfloor 3/2 \rfloor = 1$ (див. табл. 1). Нехай вона буде виконуватися для значення $\lambda = n$. Доведемо її справедливість для $\lambda = n + 1$. Розглянемо два випадки: нехай $n = 2k$ (1-й випадок), тоді маємо: $p = \lfloor 2k/k \rfloor = k$. Для $n = 2k + 1$ (2-й випадок) отримуємо: $\Delta = \lfloor (2k+1)/2 \rfloor = \lfloor k + 1/2 \rfloor = k$. Твердження доведено.

Тоді, з урахуванням (7), корегуємо (6), після чого маємо:

$$\lfloor \lambda/2 \rfloor \leq \Delta \leq \lambda - 2. \tag{8}$$

На рис. 5 показані графіки для Δ_{\min} і Δ_{\max} , а також числові дані (λ) для подібних структур (див. табл. 1).

Таблиця 2

Значення Δ

Δ_{\min}	λ	Δ_{\max}
1	3	1
2	4	2
2	5	3
3	6	4
3	7	5
4	8	6
4	9	7
5	10	8
...

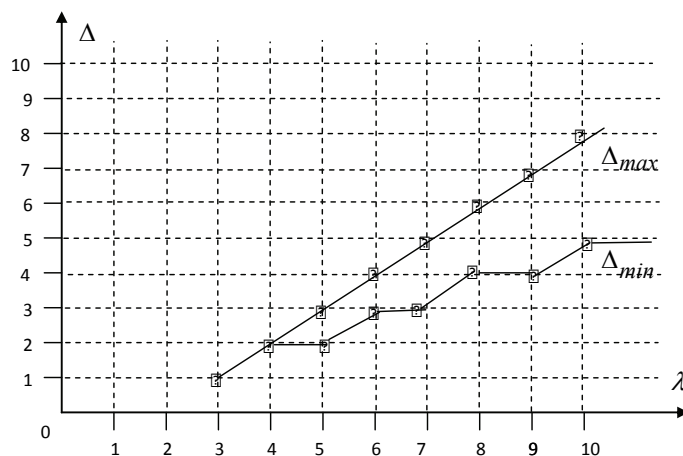


Рис. 5. Залежність показника Δ від глибини діагностування λ

Слід зазначити, що під час генерування різних варіантів розбиття суттєву роль відіграє кількість двоелементних компонентів, які, фактично, створюють відносини складних фрагментів.

Наслідок 1. У процесі формування λ -структур, за заданого показника λ і параметрах $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ розбиття вершин графа G , повинна виконуватись умова

$$a_2 \geq s + t. \tag{9}$$

Якщо умова (9) не виконується, то структура може бути некоректною.

Наслідок 2. Якщо під час формування λ -структур за заданого показника λ і параметрах $\langle p, \Delta, \delta \rangle$ розбиття вершин графа G виконується умова $\delta_2 < s$, то існують вироджені ланцюги (числом s'):

$$s' = s - \delta_2, \tag{10}$$

де $s' \leq 1/2 \cdot a \cdot (a - 1)$, a — число складних компонентів, які перетинаються не більше одного разу (безпосередньо).

Прикладом такої ситуації є структура, яка показана на рис. 6.

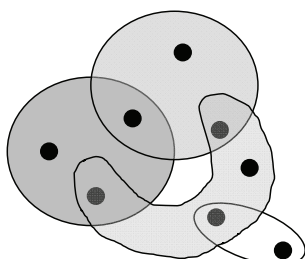


Рис. 6. Структура з показником $s' = s = 3$ для $\lambda = 8$

При цьому маємо такі значення показників розбиття: $N = 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 4 \cdot 1 = 12$, $\Delta = 4$, $p = 4$, $\delta = 0$.

Слід зазначити, що існують цілі підмножини структур, які описуються однаковими значеннями, що, в свою чергу, пояснює дію запропонованих процедурних механізмів зміни відносин складних компонентів, які відбуваються в ВПЛ- і НПЛ-гілках структур, які аналізуються [4]. Це дає змогу вибирати такі структури розбиття, які описуються однаковими значеннями характеристик, за меншого загального часу тестування об'єкта, який, попередньо декомпонується.

Не порушуючи загальності, розглянемо алгоритм, який реалізує запропонований метод формування компонентних структур за заданих параметрів.

Крок 1. Сформувати множину (λ) елементів ЦП, де для будь-якої пари ($i, j \subseteq \lambda, i \neq j$) виконується умова для установчих векторів тестування

$$L_i^{YB} \cap L_j^{YB} \neq \{\emptyset\}.$$

Крок 2. Сформувати множину ($N = \lambda + \Delta$) компонентного ряду для діапазону значень $\lfloor \lambda/2 \rfloor \leq \Delta \leq \lambda - 2$ множини перетинань. Зафіксувати верхню межу значень $k = 2\lambda - 2$.

Крок 3. Якщо виконується нерівність $k < \lambda + \lfloor \lambda/2 \rfloor$, то йти до кроку 10; інакше призначити $k := k - 1$, $j := 0$; реалізувати функцію $\mu(k, m)$ — розбиття числа k на m доданків; зафіксувати число (m) доданків розбиття, а також присвоїти значення $z = 0$.

Крок 4. Якщо $j > m$, то йти до кроку 6, інакше призначити $j := j + 1$;

Крок 5. Якщо j -й доданок можна представити у вигляді двоелементного добутку $(b_j a_j)$, де жодний множник не дорівнює одиниці, то присвоїти значення $z := z + 1$; йти до кроку 4.

Крок 6. Якщо $z \neq j$, то йти до кроку 3, інакше присвоїти $\Delta = k$, $j = 0$, $p = 0$.

Крок 7. Якщо $j \neq m$, то присвоїти $j := j + 1$, $p := p + b_j$, йти до кроку 7.

Крок 8. Якщо $(b_2 \cdot a_2) \neq 0$, то присвоїти змінним значення $a = p - a_2$, $s := \Delta - a_2$, $\delta = p + \Delta - \lambda$, присвоїти $\delta_a = 0$ (або $\delta_2 = 0$), $\delta_2 = \delta$ (або $\delta_a = \delta$), $t = a_2 - \delta_2$.

Крок 9. Провести аналіз і вибір структури розбиття, враховуючи час тестування і опис відносин компонентів. Йти до кроку 3.

Крок 10. Кінець алгоритму.

Слід відмітити особливості методу формування різних структур:

— в процесі розбиття характеристики N на доданки усувається варіант $(b_i a_i)$, якщо $b_i = 1$;

— розраховуючи показник δ , враховується мінімальне значення для доданку в твердженні 4: $z = \delta - \min \{ \max \{ \delta_2 \}, \max \{ \delta_a \} \}$;

— збільшення варіантів розбиття може здійснитися у разі врахування, додатково, сполучень типу $(a_i b_i)$ і підсумовуванні таких доданків компонентного ряду N за однакових значень показника a_i ;

— вибір варіанта розбиття (зі своїми характеристиками) кожний раз поновлюється у разі отримання меншого часу тестування сформованої структури пристрою: фіксується останній вибір з метою економії пам'яті;

— наявність складних компонентів з ядрами (повні фрагменти схем) задається показником δ_2 або δ_a на початку моделювання: ядер в структурі більше (менше) для t_{\min} (t_{\max});

— між складними компонентами допускається безпосереднє перетинання (s') не більшої кількості зв'язків між дугами гіперграфа, ніж у простому повному графі (вироджені ланцюги (ВПЛ)). В протилежному випадку зменшується глибина пошуку несправностей.

Висновки

Отримані числові значення характеристик розбиття (для заданої глибини діагностування λ будь-якого пристрою) лежать в основі формування комп'ютерних (матричних) моделей, які моделюють формування і пересування ВПЛ- і НПЛ-утворень, чим і досягається існування різноманіт-

ності підструктур. В пам'яті засобів діагностування також зберігається додаткова (числова) інформація, яка використовується в процесі прийняття рішень про загальний (покомпонентний) час тестування ЦП на модельному рівні. Слід також зазначити, що тестери такого класу можуть організовувати діагностичні процедури, які використовують нестандартні фізичні властивості перевірки пристроїв. Це дає змогу суттєво зменшити не тільки час загального діагностування подібних об'єктів, але і зекономити машинну пам'ять СПД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Городецкий А. Снова о внутрисхемном тестировании / Ами Городецкий // Компоненты и технологии. — 2011. — № 7. — 3 с.
2. Аналіз композиційного підходу формування штучних фрагментів цифрових схем, як об'єктів внутрішньосхемного діагностування / [С. І. Перевозніков, Н. О. Біліченко, М. А. Очкуров, В. С. Озеранський] // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2007. — № 2 (9). — 6 с.
3. Перевозніков С. І. Формування компонентних структур тестування цифрових пристроїв на основі їх графового представлення / С. І. Перевозніков, В. С. Озеранський, І. Р. Арсенюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2012. — № 2 (24). — С. 56—61.
4. Перевозніков С. І. Особливості формування компонентних структур тестування для систем внутрішньосхемного пошуку несправностей цифрових пристроїв / С. І. Перевозніков, В. С. Озеранський, Л. В. Крупельницький // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 12. — С. 62—71.

Рекомендована кафедрою комп'ютерних наук

Стаття надійшла до редакції 06.09.2013
Рекомендована до друку 20.09.2013

Озеранський Володимир Сергійович — аспірант кафедри комп'ютерних наук.
Вінницький національний технічний університет, Вінниця