

УДК 621. 3:681. 142:681. 326

ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТРУКТУРИ ЦИФРОВИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

К. т. н., доц. Месюра В. І., Ставнича Т. М.

Вступ

Алгоритми синтезу тестових впливів повинні забезпечувати задані повноту і достовірність тестування відповідного класу дефектів електронного пристрою (ЕП). Ефективність таких алгоритмів значною мірою визначається ступенем адекватності математичної моделі реальному ЕП. Основою для створення моделі є, як правило, електрична принципова схема пристрою. Проте, необхідна для створення моделі ЕП інформація про характеристики пристрою може бути отримана і у випадку відсутності комплексу технічної документації в режимі його ідентифікації на підставі аналізу впливів, які подаються на вхід об'єкта та реакцій, які знімаються з його виходу.

Метою реалізації режиму покомпонентної ідентифікації (in-circuit identification) є розширення функційних можливостей автоматизованих систем діагностування ЕП, зокрема:

- відновлення електричної принципової схеми пристрою у випадку її відсутності, або за наявності в схемі змін, які не відображені у комплекті документації [1];
- автоматизованої генерації тестових програм у режимі самопрограмування системи діагностування [2, 4];
- реалізації механізмів адаптивного виводу, що розширюють діапазон дефектів, які виявляються тестером [3];
- верифікації пристроїв у випадках, коли необхідно виключити можливість невідповідності об'єкта наявній документації.

Формальний опис об'єкта ідентифікації

Запропонований структурно-функційний підхід до ідентифікації цифрових ЕП ґрунтується на комплексному аналізі структурних і функційних характеристик цифрового компонента D_j і ЕП в цілому. При цьому, математична модель компонента D_j зображається у вигляді:

$$M_j = (F_j, V_j),$$

де F_j — функція, що реалізована компонентом D_j та відображає залежності між рівнями сигналів, присутніх на множині V_j його виводів $V_j = X_j \cup Y_j$, де X_j — множина входів, а Y_j — множина виходів компонента.

При цьому, у загальному випадку, має місце умова

$$X_j \cap Y_j \neq \emptyset.$$

Структурні характеристики компонента опишемо у вигляді вектора структурних ознак $Z(D_j)$, розмірність якого співпадає з кількістю виходів компонента, а значення координат визначаються за таким правилом:

$$z_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_{i,j} \in X_j; \\ 0, & \text{якщо } v_{i,j} \in Y_j. \end{cases}$$

Для зниження розмірності поставленої задачі використаємо декомпозиційне представлення функції цифрового компонента у вигляді

$$F_j = \left\{ f_{i,j} \mid i = \overline{1, |Y_j|} \right\},$$

де $\{f_{i,j}\}$ — множина елементарних функцій, реалізованих базовими елементами, які входять до складу компонента. Під базовим елементом будемо розуміти фрагмент внутрішньої структури цифрового компонента (ЦК), що має один вихід, який співпадає з одним із виходів компонента, і відповідну кількість входів, що співпадають зі входами компонента. Таким чином, кожна елементарна функція $f_{i,j}$ відображає залежність стану виходу $y_{i,j} \in Y_j$ компонента D_j від стану деякої підмножини його входів $X_{i,j} \subset X_j$, описану в алгебричній формі [1].

Наприклад, стан виходу Q для компонента типу LN74LS74 буде описано таким виразом:

$$Q_1 = (1 - S_1) + S_1 R_1 [Q_1^\alpha + C'(D_1 - Q_1^\alpha)], \quad (1)$$

де Q^α — стан виходу Q на попередньому такті іспитів.

Систему рівнянь (1), що описують функційні властивості компонента, будемо називати функційно-алгебричною моделлю (ФАМ) ЦК [1].

Позначимо через $v_{i,j}^t$ значення рівнів сигналів, що присутні в момент часу t на виходах компонента D_j . Оскільки $v_{i,j}^t$ можуть приймати значення тільки $\{0,1\}$, стан ЦК у кожний момент часу може бути описано числовою характеристикою n_j^t , яку будемо називати кодом стану компонента

$$n_j^t = \sum_{i=1}^{|V_j|} 2^{i-1} v_{i,j}^t. \quad (2)$$

Підставимо в (2), на місця виводів $v_{i,j} \in Y_j$, вирази виду (1), що описують взаємозв'язок між значеннями рівнів сигналів на входах і виходах компонента. Одержаний в результаті вираз назвемо структурно-функційною алгебричною моделлю (СФАМ) ЦК.

Множину кодів станів $N_j = \{n_j^k, k = \overline{1, m}\}$, що одержана з СФАМ підстановкою всіх можливих комбінацій вхідних сигналів, будемо називати описом простору станів (ПС) компонента D_j в цифровій формі і позначати N_j або $N(D_j)$. Простір станів ЦК D_j будемо зображати матрицею розмірності $l \times m$, де $l = |V_j|$, а $m = 2^{|X_j|}$ для комбінаційних, та $2^{|X_j|} \leq m \leq 2^{|V_j|}$ — для ЦК з пам'яттю.

Зображення простору пошуку

З метою зниження розмірності задачі, загальний простір пошуку в АСДІ (автоматизованій системі діагностування та ідентифікації) розбивається на ряд підпросторів, що відрізняються кількістю виводів присутніх в них компонентів-кандидатів. Крім того, кожний з вказаних підпросторів розбивається, у свою чергу, на два підпростори: функційний (ФПП) і структурний (СПП).

З метою скорочення витрат часу на здійснення пошуку, кожний з цих підпросторів може бути заданий в явному вигляді, у формі матриць. СПП зображуються матрицями розміру $|L_S| \times |V_S|$, де $|L_S|$ — потужність множини компонентів-кандидатів, а $|V_S|$ — кількість виводів компонентів-кандидатів, присутніх у даному СПП. Значення елементів $l_{i,j}$ матриці СПП визначаються у такий спосіб:

$$l_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v_{i,j} \in X_j; \\ 0, & \text{якщо } v_{i,j} \in Y_j. \end{cases}$$

ФПП зображуються матрицями розміру $|L_S| \times 2^{|V_S|}$, а значення їх елементів $m_{i,j}$ визначаються таким правилом:

$$m_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } n_i \in N(D_j); \\ 0, & \text{якщо } n_i \notin N(D_j). \end{cases}$$

З такою організацією ФПП забезпечується швидка процедура звуження простору пошуку на кожному кроці ідентифікації: під час виявлення коду стану n_i з матриці просто виключаються всі стовпчики зі значеннями $m_{i,j}=0$.

Обсяг оперативної пам'яті, необхідний для зображення простору пошуку, що включає 1000 кандидатів, не перевищує 1 Мб.

Простір пошуку може бути поданий в АСДІ також і в неявному вигляді — множиною СФАМ компонентів-кандидатів. У цьому випадку для пошуку рішень використовується метод «генерації-перевірки», що потребує додаткових витрат часу на генерацію можливих рішень (вибір СФАМ чергового кандидату) і перевірку виконання умови $n_i \in N_j$. Проте, перевага такого зображення полягає в тому, що СФАМ надається можливість розрахунку для кожного компонента-кандидата не тільки допустимості чергового стану об'єкта ідентифікації, але і допустимості переходу компонентів-кандидатів із стану n_{i-1} в стан n_i [1].

Представлення знань

Знання про компоненти, що ідентифікуються, і про функції цих компонентів організовані в АСДІ у вигляді ієрархії типів об'єктів, в основу якої покладена множина ФАМ елементарних функцій. Сукупність таких функцій визначає функційність ЦК.

Знання про електронні пристрої зображуються в АСДІ продукціями, що описують, зокрема, евристичні правила розробки і конструювання друкованих вузлів. Ці знання необхідні, в першу чергу, для визначення точок прикладання ідентифікаційних впливів до ЦК типу «чорний ящик», апріорна інформація про множини входів і виходів якого відсутня [1].

Приклад таких знань:

- ЯКЩО вивід компонента підключено до загальної шини живлення ЕП, ТО цей вивід є входом з імовірністю $P = 1$.
- ЯКЩО виводи з'єднані тільки між собою І з'єднані з потенційною шиною живлення ЕП, ТО ці виводи є входами з імовірністю $P = 0,9$.
- ЯКЩО два виводи компонента зв'язані між собою І не з'єднані ні з одним іншим виводом, ТО один з цих виводів є входом, а інший — виходом, з імовірністю $P = 1$, і т. д.

Алгоритм ідентифікації

Відповідно до запропонованого структурно-функційного підходу, суть алгоритму ідентифікації полягає в паралельному пошуку рішення в двох фіксованих підпросторах пошуку: ФПП і СПП. При цьому, використання присутніх у базі знань правил проектування ЕП, які забезпечують додаткову інформацію щодо встановлення належності окремих його виводів підмножинам X_j або Y_j забезпечує істотне скорочення СПП за рахунок накладання обмежень на тип компонента що ідентифікується. У процесі роботи алгоритму здійснюється послідовне скорочення ФПП і СПП шляхом переведення компонента, що ідентифікується, в деяку послідовність станів і аналізу цих станів з урахуванням присутніх у базі знань правил.

Під час опису роботи алгоритму будемо використовувати сформульовані вище поняття вектора структурних ознак (ВСО) $Z_j = \{z_{i,j}\}, i = 1, \dots, |V_j|$ і простору станів компонента N_j , а також поняття вектора ідентифікації (ВІ) A_j , розмір якого співпадає з кількістю компонентів, присутніх у бібліотеці АСДІ, а значення i -го розряду $a_{i,j}^k = 1$ у тому

випадку, якщо на k -му кроці ідентифікації j -го компонента, що представляється значенням ВІ A_j^k , компонент i -го типу входить до числа кандидатів. Алгоритм успішно завершує ідентифікацію j -го компонента в тому випадку, якщо на k -му кроці ідентифікації у ВІ є лише один ненульовий розряд. У зв'язку з наявністю двох підпросторів пошуку ФПП і СПП ВІ може бути зображений у вигляді:

$$A_j = \tilde{A}_j \oplus \bar{A}_j,$$

де \tilde{A}_j — функціональна складова ВІ A_j ; \bar{A}_j — його структурна складова; \oplus — знак математичної операції порозрядного додавання векторів по mod2.

Наведемо послідовність кроків узагальненого алгоритму ідентифікації ЦК у складі ЕП невідомої структури:

1. Використовуючи евристичні правила з бази знань, визначити множину $Z = \{Z_j\}$ ВСО цифрових компонентів D_j , що входять до складу ЕП, який досліджується.
2. Утворити множину W , що включає всі ЦК ЕП. Утворити підмножину цифрових компонентів $W_c = W$.
3. Визначити значення структурних складових векторів ідентифікації для кожного з компонентів $D_j \in W_c$ шляхом виконання перетворення ϕ

$$\phi: Z_j^k \rightarrow \bar{A}_j^k.$$

4. Перевірити чи подані на ЕП напруги живлення? Якщо так — перейти до п. 6, інакше — перейти до п. 5.
5. Подати на ЕП, що досліджується, напругу живлення.
6. Виміряти коди станів n_j^k кожного з компонентів $D_j \subset W$ і обчислити значення функційних складових відповідних ВІ шляхом виконання перетворення ϕ

$$\phi: n_j^k \rightarrow \tilde{A}_j^k.$$

7. Обчислити значення A_j^k векторів ідентифікації для всіх $D_j \in W_c$:

$$A_j^k = \tilde{A}_j^k \oplus \bar{A}_j^k.$$

8. Проаналізувати отриману множину ВІ. Якщо є ВІ з відсутніми значущими розрядами перейти до п. 9, інакше — до п. 10.
9. Видати повідомлення про відсутність у бібліотеці еталонів опису, що відповідає типу компонента D_j . Отримавши вказівку оператора, виконати автоматичну класифікацію компонента і занести інформацію про нього в бібліотеку еталонів під ім'ям, що задане оператором. Виключити компонент D_j із множини W і всіх його підмножин. Перейти до п. 8.
10. Проаналізувати отриману множину ВІ. За наявності в ній ВІ з одним значущим розрядом перейти до п. 11, інакше — перейти до п. 15.
11. Видати повідомлення про тип компонента D_j , ВІ A_j якого має один значущий розряд. Виключити компонент D_j із множини W і всіх його підмножин.
12. Якщо виконується $W = \emptyset$ — закінчити роботу, інакше перейти до п. 13.

13. Сформувати підмножину $W_{-j} \subset W$, що включає компоненти $D_k \subset W$, суміжні в ЕП з проідентифікованим компонентом D_j . Утворити підмножину ЦК $W_c = W_{-j}$.
14. Визначити значення структурних складових векторів ідентифікації для кожного з компонентів $D_j \in W_c$ шляхом виконання перетворення φ :

$$\varphi: Z_j^k \rightarrow \bar{A}_j^k.$$

Перейти до п. 7.

15. Покласти $W_c = W$. Здійснити ранжування компонентів $D_j \in W_c$ по порядку збільшення кількості значущих розрядів ВСО Z_j^k . Якщо рівні значущі розряди Z_j^k , здійснити ранжування за зменшенням кількості значущих розрядів ВІ A_k . Вибрати компонент D_j із мінімальним рангом.
16. Послідовно формувати і видавати ідентифікаційні впливи (із множини допустимих) на компонент з мінімальним рангом. Якщо є переключення виходу компонента перейти до п. 18, інакше — до п. 17.
17. Якщо є компонент наступного рангу, вибрати його і перейти до п. 16, інакше — для всіх компонентів D_j , для яких не вдалося домогтися переключення виходів, обнулити значення A_k і перейти до п. 8.
18. Сформувати підмножину $W_j \subset W$, яка включає компонент D_j і суміжні з ним компоненти. Утворити підмножину ЦК $W_c = W_j$. Перейти до п. 3.

Висновки

Таким чином, розглянутий метод ідентифікації ЦК типу «чорний ящик» у складі ЕП базується на таких головних підходах і рішеннях:

- використання для висування гіпотез про зовнішні структурні ознаки компонентів, що ідентифікуються, евристичних знань експертів про правила проектування і компонування ЕП;
- розбиття простору пошуку на два фіксованих підпростори СПП і ФПП, з організацією паралельного пошуку рішення в обох підпросторах;
- використання декомпозиційного зображення ЦК за допомогою СФАМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Байда Н. П., Месюра В. И., Роик А. М. Самообучающиеся анализаторы производственных дефектов в РЭА. — М.: Радио и связь, 1991.
2. Baida N. P., Mesyura V. I. Method of Component Identification in Printed Circuits Units with Unknown Structure // Proceedings of the XIII IMEKO World Congress, Torino. — 1994. — Vol. 3. — P. 2246—2251.
3. Baida N. P., Mesyura V. I., Roik A. M. Approach to the In-Circuit Testers Training for Electronic Devices Identification. // Intern. Journ. on Information Theories & Applications. — 1993. — Vol. 3. — N 7. — P. 28—35.
4. Bill Stark. Smart Board Testers Learn by Doing // Electronics Test. — 1990. — N 8. — P. 53—57.

Стаття рекомендована до опублікування науково-технічною конференцією «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-99), яка відбулася у ВДТУ 3—5 лютого 1999 року.

Надійшла до редакції 22.04.1999 р.

Месюра Володимир Іванович — доцент кафедри інтелектуальних систем ВДТУ,
Ставнича Тетяна Миколаївна — аспірант кафедри інтелектуальних систем ВДТУ.