

УДК 004.3

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ В ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ**Кардашук В. С.****MODELING OF MALFUNCTIONS IN DIGITAL DEVICES****Kardashuk V. S.**

В статті запропоновано алгоритм роботи кубічного покриття для отримання тестового набору двійкового коду та моделювання несправностей цифрових пристроїв. На прикладі роботи комутатора показана робота алгоритму та моделювання несправності. Запропонований алгоритм може бути використаний для налаштування цифрових блоків в умовах виробництва.

Ключові слова: діагностика, цифрова схема, моделювання, несправність, алгоритм, кубічне покриття, тестовий набір.

Вступ. У задачах діагностики логічне моделювання застосовують в основному для вирішення двох класів завдань: обчислення реакції схеми на вхідні дії в справному стані і обчислення реакцій схеми при наявності в схемі певних несправностей. Процедури реалізації справного моделювання можна класифікувати за програмними цілями і способам реалізації процедур моделювання.

Постановка проблеми. Як зазначено в [1], одним із способів подання примітивного елемента (ПЕ) в інтерпретативних системах моделювання є кубічні покриття (КП), що представляють собою мінімізовані таблиці істинності в алфавіті $\{0,1,X\}$. Процедури моделювання ПЕ з використанням моделей у вигляді КП прийнято називати кубічним моделюванням. Актуальність проблеми полягає в тому, що інколи цифрові схеми містять у своєму складі багатоступінчасті структури та мають зворотні зв'язки, які в свою чергу ускладнюють процес отримання тестового покриття для моделювання несправності ПЕ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. За способом обліку затримок в моделях ПЕ процедури моделювання діляться на синхронні (без урахування затримок) і асинхронні (враховують затримки в моделях ПЕ).

За способом обліку перехідних процесів процедури моделювання діляться на виконавчі і багатозначні. Багатозначні методи моделювання дозволяють у процедурах синхронного моделювання вплив перехідних процесів в схемах

на результат моделювання. Серед процедур багатозначного моделювання особливо виділяють потрібне моделювання в алфавіті $\{0,1,X\}$, яке, зберігаючи достатню швидкість, дозволяє проводити аналіз перехідних процесів в цифрових схемах.

У діагностичних завданнях переважно застосовуються процедури зворотної імплікації і аналогічні їм по обчислювальній складності. З [1] відомо, що обчислювальна складність процедур зворотної імплікації в середньому в 50-100 разів вище, ніж для задач прямої імплікації. У зв'язку з цим в діагностичних завданнях застосовуються переважно процедури синхронного моделювання (синхронні моделі, де час затримки дорівнює 0). Але, разом з тим, певний інтерес представляє розгляд процедур асинхронного інтерпретативного моделювання.

Мета статті. Дослідити процедуру кубічного моделювання та запропонувати алгоритм, який би враховував багатоступінчатість та зворотність зв'язків цифрової схеми.

Результати досліджень. В літературі [2] представлено опис принципів побудови систем компілятивного асинхронного двійкового моделювання. Прикладом такої системи є підсистема моделювання в САПР Active_HDL. В документації до цієї системи є досить докладний опис так званого "умовного асинхронного подієвого моделювання". Стосовно інтерпретативних симуляторів асинхронне моделювання має ряд особливостей. У інтерпретативних системах моделювання мікротакт визначається мінімальною затримкою одного з примітивних елементів схеми. Всі інші затримки визначаються кратними мінімальній. Час моделювання одного набору схеми є тактом. Такт дорівнює кількості мікротактів на шляху схеми максимальної довжини (рис. 1).

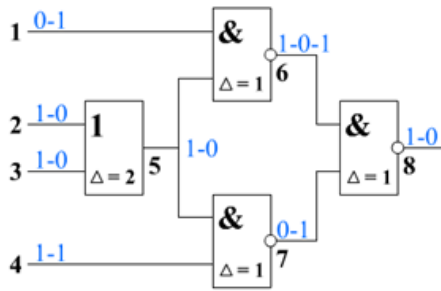


Рис. 1. Моделювання цифрової комбінаційної схеми в режимі двійкового асинхронного моделювання

У розглянутому вище прикладі такт роботи схеми дорівнює чотирьом мікротактам, тому що сума дельта-затримок $T = \Delta 2 + \Delta 1 + \Delta 1 = \Delta 4$. Внаслідок чого, можлива зміна вихідного вектора, викликана зміною вхідного, матиме місце лише після закінчення 4 мікротакту. Отже, 1-4 набори представляють собою моделювання 1 такту, 5-8 набори - 2 такту. Вхідний вектор для 2 такту подається після закінчення перших 4 мікротактів.

У інтерпретативних системах моделювання примітивні елементи (ПЕ) структурно-функціональної моделі можуть представлятися в табличному вигляді в формі мінімізованих таблиць істинності, які прийнято називати кубічними покриттями (КП, англ. Cover - покривати) [3].

Для комбінаційних схем алфавіт уявлення КП $A1 = \{0, 1, X\}$, де $X = (0, 1)$. Кубічне покриття в алфавіті $A1$ для схем, що мають один вихід умовно можна розділити на дві частини і позначити: C^0 - куби, які мають символ 0 на вихідній координаті; C^1 - куби, які мають символ 1 на вихідній координаті.

Одним з основних властивостей КП є правило $C^0 \cap C^1 = \emptyset$ [4].

Якщо вказане правило не дотримується, то КП побудовано невірно. У будь-якому КП кожен з 2^n вхідних наборів T_i "належить" одному з кубів покриття ($T_i \in C^0$ або $T_i \in C^1$). Звідси термін "кубічне покриття" - його куби "покривають" всі 2^n вхідних двійкових наборів.

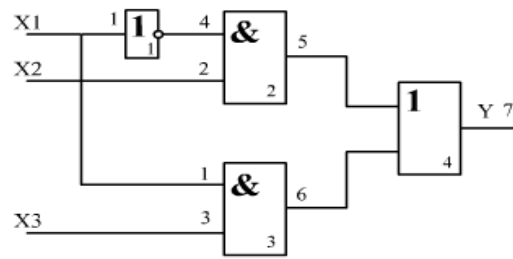
Як приклад, розглянемо комбінаційну схему комутатора 2 в 1 з керуючим входом $X1$ (рис. 1).

Рівняння даної схеми має вигляд: $Y = /X1X2 \vee X1X3$. Нижче наведена схемна реалізація даного комутатора, його таблиця істинності і один з можливих варіантів кубічного покриття. На прикладі продемонстровано реалізація умови: $C^0 \cap C^1 = \emptyset$.

Механізм кубічного моделювання полягає у визначенні приналежності вхідного набору, що моделюється, відповідним кубів покриттів C^0 або C^1 . Умову приналежності вхідного набору T одному з кубів покриття можна сформулювати наступним чином:

$$T \cap C^{0,1} = T, \tag{1}$$

де \cap - кубічна операція перетину.



	$x2 \ x3$	00	01	11	10
$x1$	0	0	0	1	1
	1	0	1	1	0

$$C^1 = \left\{ \begin{matrix} 0 \ 1 \ x \\ 1 \ x \ 1 \end{matrix} \right\} \quad C^0 = \left\{ \begin{matrix} 0 \ 0 \ x \\ 1 \ x \ 0 \end{matrix} \right\}$$

Рис. 2. Дослідження роботи комутатора з використанням кубічного покриття

Кубічна операція перетину є покоординатною і правила її виконання в кожному розряді наведені в таблиці.

Таблиця

Кубічна операція перетину

\cap	0	1	X
0	0	\emptyset	0
1	\emptyset	1	1
X	0	1	X

Якщо результат перетину хоча б в одному розряді дорівнює "порожньо", результат перетину двох кубів вважається рівним "порожньо".

Таким чином, якщо $T \in C^0$, вихід елемента дорівнює 0, якщо $T \in C^1$, вихід елемента дорівнює 1. Якщо правило приналежності не виконується для всіх кубів покриття, то вихід елемента дорівнює X .

Проведемо дослідження виконання кубічного моделювання для пошуку несправності на прикладі комутатора (див. рис. 2). Результати моделювання, з отриманим тестовим діагностичним набором вхідних кодів, наведені на рис. 3.

На основі проведеного дослідження з застосуванням кубічного моделювання можна запропонувати алгоритм роботи, що складається з наступних етапів:

1. Побудова структурно-функціональної моделі шляхом ранжирування ліній схеми і нумерації ПЕ схеми.

2. Вибір чергового по порядку ПЕ і аналіз наявності подій на його входах. Якщо подій немає, то переходимо до моделювання наступного елемента.

3. Виконується перетин вхідного набору ПЕ з кубами його покриття за правилами (див. табл. 1). Якщо результат перехрещення не дорівнює "порожньо" і вхідний куб поглинається відповідним

кубом покриття, то на вихід елемента записується значення (0 або 1) виходу відповідного куба покриття.

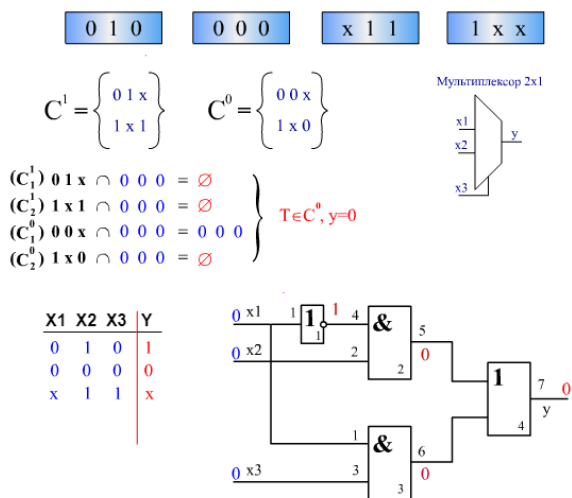


Рис.3. Діагностичний набір вхідних кодів для комутатора

4. Якщо правило поглинання не виконується для всіх кубів покриття, то на вихід елемента записується X .

5. Пункти 2-4 повторюються до тих пір, поки не будуть промодельовані всі ПЕ схеми.

6. Для комбінаційної схеми для моделювання одного набору необхідна одна ітерація. Для послідовної схеми (ПС) необхідно повторити моделювання цього ж набору і порівняти результати моделювання двох ітерацій. Якщо результати співпали, то моделювання даного набору закінчено, якщо ні, то моделювання повторюється знову до тих пір, поки моделювання не співпаде або число ітерацій не перевищить заздалегідь обумовлену величину.

Висновок. Запропонований алгоритм роботи знаходження кубічного покриття цифрових схем може бути використаний для моделювання несправностей в інтерпретативних асинхронних системах та полегшить процес налаштування блоків цифрових пристроїв в умовах виробництва.

Л і т е р а т у р а

1. Скобцов В.Ю. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / В.Ю Скобцов., Ю.А.Скобцов. – Донецк: ИПММ НАНУ, ДонНТУ, – 2005. – 436с.

2. Шалагинов А. Изучаем Active HDL. Интернет-ресурс. Режим доступа http://kit-e.ru/articles/circuit/2009_12_134.php
3. Хаханов В.И. Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Гузь О.А. – Харьков: ХНУРЭ. – 2009. – 484 с.
4. Хаханов В.И. Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / Хаханов В.И., Хаханова И.В., Литвинова Е.И. и др. – Харьков: ХНУРЭ. – 2010. – 528 с.

References

1. Skobtsov V.Y. Logic Modeling and Testing of Digital Devices / V.Y. Skobtsov., Y.A. Skobtsov. – Donetsk: IAMM NASU, DonNTU, – 2005. – 436 p.
2. Shalaginov A. We study Active HDL. Internet resource. Available at: http://kit-e.ru/articles/circuit/2009_12_134.php
3. Khakanov V.I. Designing and testing of digital systems on crystals / Khakanov V.I., Litvinova E.I., Guz O.A. – Kharkov: KNURE. – 2009 – 484 pp.
4. Khakanov V.I. Designing and Verifying Digital Systems on Crystals / Khakanov V.I., Hahanova I.V, Litvinova E.I. and others – Kharkov: KNURE. – 2010 – 528 pp.

Кардашук В.С. Моделирование неисправностей в цифровых устройствах.

В статье предложен алгоритм работы кубического покрытия для получения тестового набора двоичного кода и моделирования неисправностей цифровых устройств. На примере работы коммутатора показана работа алгоритма и моделирование неисправности. Предложенный алгоритм может быть использован для настройки цифровых блоков в условиях производства.

Ключевые слова: диагностика, цифровая схема, моделирование, неисправность, алгоритм, кубическое покрытие, тестовый набор.

Kardashuk V.S. Modeling of malfunctions in digital devices.

In the article an algorithm of cubic cover work is proposed for obtaining a test set of binary code and simulation of digital devices malfunctions. The operation of the switch illustrates the operation of the algorithm and simulation of the malfunction. The proposed algorithm can be used to configure the digital blocks under production conditions.

Keywords: diagnostics, digital scheme, modeling, malfunction, algorithm, cubic cover, test set.

Кардашук В.С. – к.т.н, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, e-mail: karfashuk1@gmail.com

Рецензент: д.т.н, проф. **Татарченко Г.О.**