

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 3(42), июль – сентябрь 2008

Выходит 4 раза в год

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2008

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

РИ, 2008, № 3

РАДИОТЕХНИКА

| | |
|---|----|
| ГАВРИШ О.С., ГОНЧАРОВ А.В., ФІЛПОВ В.В. АНАЛІЗ ОЦІНОК ПАРАМЕТРА ПОСТІЙНОГО СИГНАЛУ ПРИ АДИТИВНІЙ ВЗАЄМОДІЇ З АСИМЕТРИЧНОЮ ЗАВАДОЮ МЕТОДОМ МАКСИМІЗАЦІЇ ПОЛІНОМА ТА МЕТОДОМ МОМЕНТІВ..... | 3 |
| ПАЛАГІН В.В., ЛЕЛЕКО С.А. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ ПОСТІЙНИХ СИГНАЛІВ НА ТЛІ НЕГАУССІВСЬКИХ АСИМЕТРИЧНО-ЕКСЦЕСНИХ ЗАВАД..... | 10 |

СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

| | |
|---|----|
| ХУДОШИН И.Г. РЕШЕНИЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-АЛГЕБРАИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ И ПРИМЕНЕНИЕ К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ..... | 15 |
| РУТКАС А.А. О СВОЙСТВАХ ДЕСКРИПТОРНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ..... | 22 |
| ДВУХГЛАВОВ Д.Е. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ..... | 28 |

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

| | |
|---|----|
| БАРКАЛОВ А.А., ТИТАРЕНКО Л.А., ЛАВРИК А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЛИС ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМЫ МИКРОПРОГРАММНОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ..... | 32 |
| ЛИТВИНОВА Е.И. ТЕХНОЛОГИИ ВСТРОЕННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ SYSTEM-IN-PACKAGE..... | 37 |
| БАРАННИК В.В., СЛОБОДЯНИЮК А.В. СТРУКТУРНОЕ ДВОИЧНОЕ КОДИРОВАНИЕ В НЕПОЗИЦИОННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ИЗОТОПНЫХ УРОВНЕЙ АРХИТЕКТУРЫ РЕЛЬЕФА ИЗОБРАЖЕНИЯ..... | 44 |
| ШКИЛЬ А.С., СЫРЕВИЧ Е.Е., КУЧЕРЕНКО Д.Е., ФАСТОВЕЦ Г.Ф. МЕТОДЫ ПОИСКА ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В HDL-КОДЕ..... | 47 |

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|---|----|
| РУСИН Б.П., ІВАНЮК В.Г., ЛИСАК Ю.В., АНУФРІЄВА Н.П. ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ТРИЩИН НА СЕРІЯХ ЗОБРАЖЕНЬ..... | 54 |
| РЕФЕРАТИ | 62 |

2) структурной избыточности, вызванной:

– выявлением изотопных уровней для фрагментов изображений;

– исключением из обработки изотопного уровня, содержащего наибольшее количество единичных элементов (высот рельефа изображения).

Научная новизна созданных результатов заключается в том, что впервые: разработано структурное кодирование двоичных данных в непозиционном архитектурном пространстве. Разработанное кодирование в отличие от других методов основано на:

– структурной нумерации связанных перестановок с повторениями в двоичном двумерном полиадическом пространстве;

– переформатировании архитектуры рельефа изображения в соответствии с непозиционностью и взаимноисключаемостью изотопных уровней;

– исключении из обработки старших элементов ТДС, принадлежащих ПМ с наибольшим количеством единичных элементов;

– одновременном сокращении комбинаторной избыточности, обусловленной учетом связности изотопных уровней архитектуры в двумерном полиадическом пространстве и структурной избыточности, вызванной выявлением изотопных уровней и исключением из обработки изотопного уровня, содержащего наибольшее количество высот рельефа.

Практическая значимость заключается в том, что построенный метод компактного представления на основе архитектурного позиционирования рельефа обеспечивает дополнительное увеличение степени сжатия видеоданных как в режиме без потери, так и в

режиме с регулируемыми потерями качества восстановленных изображений.

Литература: 1. *Олифер В. Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 2. *Ватолин В.И.* Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Ватолин В.И., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 2002. 384 с. 3. *Adams M.D.* The JPEG-2000 Still Image Compression 1 N 2412, Sept. 2001. 4. *Wallace G.K.* The JPEG Still Picture Compression Standard // Communication in ACM. 1991. V. 34, №4. P.31–34. 5. *Баранник В.В.* Рельефное представление изображений пирамидальным кодированием // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2001. №1. С. 17–25. 6. *Слободянюк А.В.* Методика анализа подходов относительно сокращения избыточности изображений с различной степенью достоверности в информационно-телекоммуникационных системах // Системи управління, навігації та зв'язку. ЦНДІ НіУ. 2008. № 4(8). С. 158–160. 7. *Баранник В.В.* Нумерация связанных двоичных структур в двумерном полиадическом пространстве / В.В. Баранник, А.В. Слободянюк // Системи обробки інформації. Х.: ХУПС. 2008. Вип. 7(74). С. 22–25.

Поступила в редколлегию 17.07.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Поляков П.Ф.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: обработка и передача информации. Адрес: Украина, 61023, Харьков - 23, ул. Сумская, 77/79.

Слободянюк Александр Васильевич, ассистент кафедры информатики и МПИ Каменец-Подольского национального университета. Научные интересы: обработка и передача информации.

УДК681.326

МЕТОДЫ ПОИСКА ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В HDL-КОДЕ

*ШКИЛЬ А.С., СЫРЕВИЧ Е.Е.,
КУЧЕРЕНКО Д.Е., ФАСТОВЕЦ Г.Ф.*

Рассматриваются методы поиска ошибок проектирования в неструктурированном HDL-коде. Разрабатываются структурные методы поиска и метод обратного прослеживания. Проводятся эксперименты над HDL-моделью цифрового устройства с использованием разработанных методов.

1. Введение

Верификация цифровых проектов, т.е. аппаратных или встроенных аппаратно-программных систем, описанных на языке аппаратуры (Hardware Description Language - HDL), является важной задачей в процессе проектирования цифровых устройств (ЦУ). Часто более 70% времени разработки затрачивается на поиск и исправление ошибок в проекте.

Целью данного исследования является разработка методов поиска дефектов/ошибок проектирования в неструктурированном HDL-коде, позволяющих сократить время проведения диагностического эксперимента и уменьшить длину алгоритма поиска дефекта.

Исходя из сказанного, необходимо решить следующие задачи:

- 1) Построить графовую модель, которая позволяет выполнять процедуры прямой и обратной импликации; построить тест для HDL-модели ЦУ.
- 2) Разработать структурный метод локализации ошибок проектирования в HDL-модели.
- 3) Провести диагностический эксперимент по поиску ошибок проектирования в рамках верификации.

В качестве понятия дефект в диагностических экспериментах используется понятие ошибки проектирования типа «замена оператора» [1].

2. Динамическая модель устройства на основе графа связей

Диагностический эксперимент (ДЭ) над HDL-кодом осуществляется в два этапа. На первом этапе проводится безусловный эксперимент путем подачи на вход модели теста и сравнение последовательностей на внешних выходах с эталонными значениями. Если результат хотя бы на одном выходе не совпадает с эталоном, выполняется второй этап ДЭ – локализация ошибок проектирования.

Проблема диагностирования технического состояния модели цифрового устройства заключается в минимизации области существования ошибок проектирования относительно наперед заданного класса, который называется множеством подозреваемых дефектов $|D|$, при допустимых параметрах длины теста $|T|$ и числа наблюдаемых выходов $|R|$. Функционально зависимость упомянутых компонентов определяется выражением $|D| = 1 / (|T| * |R|)$. Естественно, чем больше длина теста и количество наблюдаемых выходов, тем выше разрешающая способность алгоритма диагностирования, которая в пределе должна обеспечивать определение неисправного элемента (оператора) только по фактическим реакциям без доступа к контрольным точкам (КТ). При фиксации параметров $|T|$ и $|R|$, что имеет место в алгоритмах поиска дефектов, основанных на анализе уже заданных таблиц неисправностей (ТН), можно повысить глубину диагностирования путем использования структуры связей входо-выходных переменных элементов (операндов или операторов) модели цифрового устройства. Максимально адекватной реакцией модели на тест-вектор T_j ($i = 1, k$) при наличии дефекта является вектор-строка значений наблюдаемых выходов модели R_i . В качестве примера можно выделить метод тестового диагностирования ошибок проектирования в модели ЦУ на основе использования многозначных таблиц неисправностей (МТН), а для повышения глубины поиска неисправностей используется анализ структуры объекта.

Соединение классического метода МТН с графом связей модели позволяет перейти от тестового диагностирования к функциональному, когда в качестве тестовых воздействий используются различающие последовательности (РПС), а эталоном является реакция на тест, полученная из спецификации [2].

В начальную область подозреваемых ошибок (ОПО) проектирования входят все операндовые вершины. ДЭ проводится исходя из предположения, что в коде имеется одиночная ошибка проектирования, которая в результате даёт неисправное значение на некоторой операндовой вершине, являющейся либо контрольной точкой, либо внешним выходом.

Основной принцип, лежащий в основе структурного алгоритма поиска ошибок проектирования, следующий. Если в очередной контрольной точке результат элементарной проверки (ЭП) отрицателен, то в ОПО на очередном шаге алгоритма входит сама операндо-

вая вершина и все её предшественники в активном подграфе. Если результат проверки положителен, то все предшественники предполагаются исправными, а подозреваемая ошибка находится среди остальных вершин ОПО предыдущего шага алгоритма.

Условный диагностический эксперимент строится с условием минимизации максимальной последовательности элементарных проверок, что реализуется с применением стратегии половинного деления. Отметим, что HDL-код представляется в виде графовой модели, которая позволяет выполнять процедуры прямой и обратной импликации, а построение теста выполняется путем активизации многоуровневых путей от входов до внешних выходов или контрольных точек в I-графе [3]. В качестве тестов используются предварительно вычисленные различающие тестовые последовательности. Такие РПС позволяют найти ошибки, связанные с заменой операторов в HDL-коде.

Если транспортирование ошибки проектирования на внешний выход невозможно, то граф необходимо разбить на подграфы по принципу существования активизации. Причиной невозможности активизации может быть либо так построенный код в силу ряда причин, либо в коде имеется ошибка (предполагаемое место ошибки – подграф её предшественников) [4].

Выбор сделан в пользу РПС, а не стандартных проверяющих тестов, по нескольким причинам. Главной из них является то, что в основе построения проверяющих тестов лежат понятия транспортирования и активизации пути, по которому неисправность транспортируется на внешний выход схемы. А это не всегда можно сделать, так как в HDL-коде функциональные неисправности могут быть замаскированы дальнейшими вычислениями таким образом, что ошибка не будет наблюдаться на внешнем выходе. Например, ошибка на любой операндовой вершине не транспортируется на внешний выход, если среди её предшественников есть оператор логического ИЛИ с константной 1 на одном из входов. Для декомпозиции исходного графа используются контрольные точки (аналогично контрольным точкам при генерации тестов, которые позволяли «разбить» путь активизации и определить границы подграфов). Данные КТ будут выходами каждого из подграфов. Таким образом, ошибка проектирования транспортируется на внешний выход каждого подграфа.

Особенностью диагностирования HDL-модели является отсутствие эталонного HDL-кода, поэтому вычислить эталонные значения сигналов во всех КТ без привлечения внешних способов невозможно.

Существуют два типа контрольных точек, используемых при поиске места ошибки в HDL-коде в условиях отсутствия исчерпывающей (полной) спецификации. Контрольные точки первого рода – сигналы (переменные) модели, которые наблюдаемы и эталонные значения которых известны из спецификации. Контрольные точки второго рода – сигналы (переменные) модели, значения эталонов в которых наблюдаемы, но до начала эксперимента неизвестны.

Для удобства сравнения реакции в КТ первого рода сворачиваются в сигнатуры в Testbench, и затем сигнатуры используются в качестве эталонов в ДЭ.

Структуризация исходной модели на HDL выполняется путем выделения многовыходового подграфа, который порождается (активизируется) в результате подачи на модель ЦУ РПС. Входами подграфа являются внешние входы (операндовые вершины, не только физические), а выходами – КТ первого рода.

По результатам проведения первого этапа диагностического эксперимента (подачи теста для определения наличия ошибки проектирования в описании) формируется вектор экспериментальной проверки (ВЭП): $R = R_1, R_2, \dots, R_i, \dots, R_k$, где $R_i = 0$, если на i -м наблюдаемом выходе зафиксировано равенство эталонной и экспериментальной реакции $S_{эт} = S_{экс}$, и $R_i = 1$ в противном случае. Другими словами, определяется, на какие из множества выходов оказывает влияние предположенная ошибка проектирования. Длина ВЭП равна числу КТ первого рода, исследуемых в ходе диагностического эксперимента.

Как известно, граф связей представляет собой ориентированный связный граф $G = (V, E)$, с числом промежуточных и конечных узлов $0, 1, 2, \dots, V$ и с числом дуг-связей между ними $1, 2, \dots, E$. При этом критерий связности для модели цифрового устройства описывается следующим образом:

- 1) граф связан, если из любой начальной вершины присутствует путь в хотя бы одну конечную вершину (т.е. вершина достижима);
- 2) граф сильно связан, если из одной входной вершины существует путь в каждую выходную вершину.

Отсюда имеет место интерпретация диагностических результатов двух частных случаев: – модель не содержит ошибок проектирования, – случай сильно связанного графа и ОПО содержит все элементы.

Граф связей удобно описывать с помощью понятия достижимости. Матрица достижимости (МД) описывает возможные пути от узла V_i к узлу V_j . При этом элемент матрицы равен:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \exists V_i V_j, \\ 0 \rightarrow \bar{\exists} V_i V_j, \end{cases}$$

где $V_i V_j$ – путь от узла-источника тестов V_i к узлу-приемнику V_j .

3. Структурный метод поиска ошибок проектирования путем сужения ОПО

Алгоритм поиска дефектов/ошибок проектирования в HDL-коде в общем виде повторяет построение алгоритма для многовыходовых цифровых схем.

При условии предположения о наличии в схеме одиночного дефекта, по результатам первого этапа диаг-

ностического эксперимента, ОПО формируется на основе пересечения строк матрицы M , отмеченных единичными значениями в векторе R , по формуле:

$$D = \bigcap_{R_j=1} M_j - \bigcup_{R_j=0} M_j. \quad (1)$$

Формула (1) говорит о том, что ОПО представляет собой пересечение подмножеств операндов-предшественников с несовпадающей сигнатурой, из которого нужно вычесть объединение предшественников с сигнатурой, совпадающей с эталонной. Другими словами, из ОПО следует исключить вершины, которые не являются предшественниками с отрицательной сигнатурой, так как в случае ошибки такая вершина и все ее преемники имели бы отрицательную сигнатуру.

Из полученного множества по тем же соображениям следует исключить все вершины-предшественники с положительной сигнатурой. В предположении существования в схеме кратного дефекта ОПО определяется объединением строк, соответствующих единичным значениям координат вектора экспериментальной проверки R , и вычисляется по формуле:

$$D = \bigcup_{R_j=1} M_j - \bigcup_{R_j=0} M_j. \quad (2)$$

Формула (2) применяется, если результат вычислений по формуле (1) дал пустой результат [5].

В качестве примера рассмотрим модель-описание на языке VHDL многовыходовой комбинационной схемы. Для этой модели необходимо выполнить следующие действия.

1. Выполнить ранжирование операндов путем нумерации операндовых вершин (рис. 1).

```
entity SCH is
port (X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7: in bit;
      R14, R15, R16: out bit);
end SCH;
architecture BEH of SCH is
  signal S8, S9, S10, S11, S12, S13: bit;
begin
  S8<=X1 nand x2;
  S9<=X3 nand x4;
  S10<=X5 and x6;
  S11<=S8 nand S9;
  S12<=S9 nand S10;
  S13<=S10 and X7;
  R14<=X1 nand S11;
  R15<=S11 nand S12;
  R16<=S12 and S13;
end BEH;
```

Рис. 1. Пример VHDL- модели

2. Построить граф связей на основе операндовых вершин (рис.2).

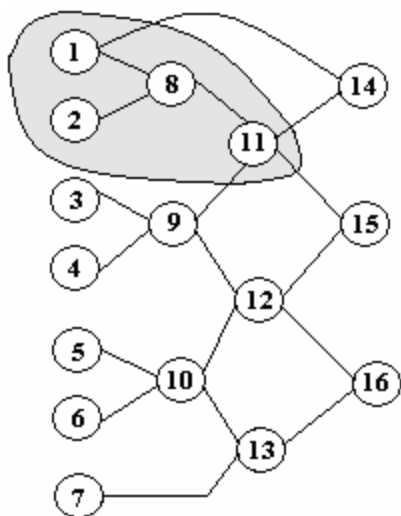


Рис. 2. Граф связей

3. По графу связей выполнить построение МД (рис. 3). В данной матрице единицами заполняется главная диагональ и те клетки в строках, которые являются предшественниками для операндовых вершин главной диагонали.

| М | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 8 | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 9 | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 10 | | | 1 | 1 | | | | | | 1 | | | | | | |
| 11 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | |
| 12 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | |
| 13 | | | 1 | 1 | 1 | | | 1 | | | 1 | | | | | |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | | 1 | | | 1 | | |
| 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |
| 16 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 1 |

Рис.3. Матрица достижимости

ВЭП будет иметь элементы R14, R15, R16. Предположим ошибку в операнде S8. При этом на вершинах 14 и 15 будет несовпадение результатов с эталоном, а на вершину 16 вершина 8 влияния не оказывает.

В этом случае вектор экспериментальной проверки ВЭП=[1,1,0]. По формуле (1) имеем:

$$D = (M_{14} \cap M_{15}) - M_{16} = \{1,2,3,4,8,9,11,12,15\} - \{3,4,5,6,7,9,10,12,13,16\} = \{1,2,8,11\}.$$

Таким образом, ОПО сузилась до 4-х вершин и двух операторов (см. рис. 2). Далее можно применить структурный метод поиска ошибок в подграфе, ограниченном элементами из ОПО.

4. Структурный метод поиска ошибок проектирования

Структурный метод основан на построении дерева поиска дефектов для одновыходового подграфа. Разбиение графа на подграфы выполняется по контрольным точкам первого рода либо по элементам, содержащимся в ОПО после применения метода её сужения.

На рис. 4 представлена HDL-модель одновыходового ЦУ, для которой предполагается построение структурного алгоритма поиска ошибок проектирования.

```
entity SCH is
  port (G1,G2,G3,G4: in bit G8: out bit);
end SCH;

architecture BEH of SCH is
  signal G5,G6, G7: bit;
begin
  G5<= G1 nand G2; G6<= G2 nand G3;
  G7<= G5 or G6; G8<= G4 nor G7;
endBEH;
```

Рис. 4. HDL-модель ЦУ

Построение структурного алгоритма поиска выполняется по следующим шагам.

1. HDL-модель ЦУ необходимо представить в виде I-графа (рис. 5).

Так как операндовые вершины G5, G6 и G8 наблюдаемы и их эталонные значения содержатся в спецификации, то они являются КТ первого рода.

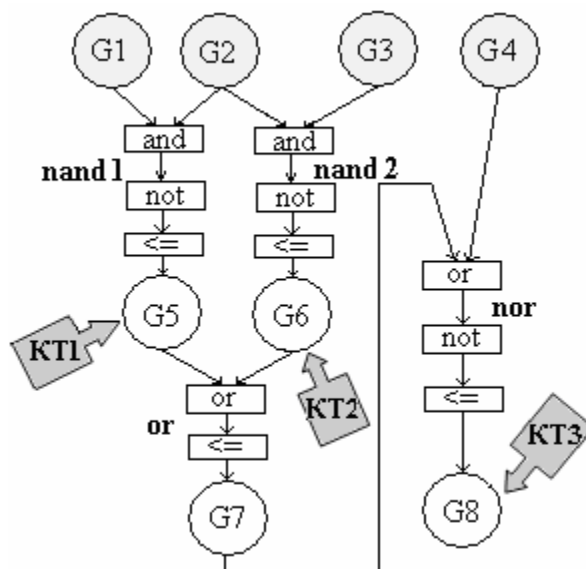


Рис. 5. Представление ЦУ в виде I-графа

2. Строится граф связи, вершинами которого являются операндовые вершины, а линии графа определяют связь между ними (рис. 6). КТ первого рода на рис. 6 выделены двойным контуром.

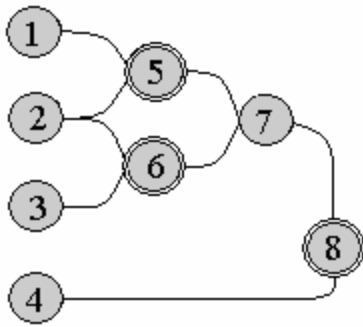


Рис. 6. Граф связей

3. Для полученного графа строится МД для КТ первого рода (рис.7).

В ОПО на первом шаге входят все вершины, кроме входов, которые по умолчанию не вносят ошибки проектирования типа замена оператора [4], и кроме вершины 7, значение которой зависит от внутренних вершин 5 и 6, вычисляемых только в процессе эксперимента (КТ второго рода).

| М | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | | | | | | |
| 2 | | 1 | | | | | |
| 3 | | | 1 | | | | |
| 4 | | | | 1 | | | |
| 5 | 1 | 1 | | | 1 | | |
| 6 | | 1 | 1 | | | 1 | |
| 8 | | | | 1 | 1 | 1 | 1 |

Рис. 7. Матрица достижимости

Дерево поиска ошибок проектирования будет строиться только по КТ первого рода на основании МД с использованием критерия половинного деления [5].

Проверка операндовой вершины 6 разбивает ОПО на 2 подмножества:

- по отрицательной сигнатуре: {2,3,6} (предшественники + сама проверяемая вершина). Как было сказано ранее, вершины 2 и 3 – входы и не вносят ошибок. Поэтому точкой возникновения ошибки считается вершина 6;
- по положительной сигнатуре: {1,4,5,8} (все остальные). В этом случае продолжаем строить дерево для ОПО {1,4,5,8}.

Аналогично рассматриваются все вершины из ОПО. Таким образом, получается результирующее дерево поиска ошибок проектирования (рис. 8).

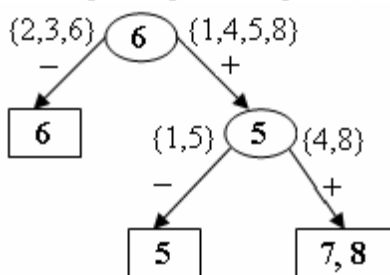


Рис. 8. Дерево поиска ошибок проектирования

Вершины 7 и 8 находятся в одном подмножестве, так как 7 является КТ второго рода. Для различения операндовых вершин 7 и 8 (выходов операторов or (G7) и nor (G8)) необходимо применить метод обратного прослеживания.

5. Структурно-функциональный метод обратного прослеживания для уточнения диагноза

В подграфе, где выходом является КТ первого рода, можно применить метод обратного прослеживания, предложенный Абрамовичем [6]. Классический метод основывался на следующих положениях.

1. Есть структурно-функциональная модель устройства.
2. Есть условие существенности (активизации) для каждого элемента.
3. Есть тест, который (предположительно) активизирует все пути в модели.
4. Есть эталонные реакции на внешнем выходе.

Суть метода состояла в следующем: если на внешнем выходе модели реальное значение не совпадает с эталонным, то выполняется импликация назад с использованием условий существенности до тех пор, пока «исчезнет» различие между реальными значениями и эталонными. Последняя из линий схемы, на которой наблюдалось несовпадение, признается неисправной. Метод применялся для одновыходовых схем в предположении о наличии в них одиночных неисправностей.

При использовании этого метода для «доискивания» в классе эквивалентных ошибок при анализе ошибочного HDL-кода необходима модификация метода. Принимаются следующие предположения:

1. Класс неисправности – замена оператора (ошибка проектирования, описанная в [1]).
2. В качестве тестов используются РПС для каждого оператора.
3. Неисправным (ошибочным) признается оператор, на входах которого наблюдалось последнее несовпадение с эталоном.

Алгоритм выполнения «доискивания»:

1. Выполняется моделирование РПС на реальной модели до внешнего выхода (либо КТ первого рода). Каждая РПС порождает многовыходной подграф, входами которого являются внешние входы (либо КТ первого рода), а выходами – внешние выходы (либо КТ первого рода).
2. Если на выходе обнаружено несовпадение с эталоном, то выполняется процедура обратного прослеживания.
3. Обратное прослеживание идет до тех пор, пока результат пересечения текущего вектора с условиями

существенности обрабатываемой операндовой вершины не равен Ж.

4. Из непустых пересечений формируется подмножество подозреваемых элементов.

Пусть имеется некоторый VHDL-код (рис. 9), реализующий комбинационную схему, представленную на рис. 10.

```
entity SCH is
  port (X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7, X8: in bit; R15: out bit);
end SCH;
architecture BEH of SCH is
  signal S9, S10, S11, S12, S13, S14: bit;
begin
  S9<=X1 and X2;
  S10<=X3 and X4;
  S11<=X5 and X6;
  S12<=X7 and X8;
  S13<=S9 and S10;
  S14<= S11 and S12;
  R15<=S13 nand S14;
end BEH;
```

Рис. 9. HDL-модель

Условия существенности для логических функций:

для И (И-НЕ) $\begin{Bmatrix} 1 & X & X \\ X & 1 & X \end{Bmatrix}$, для ИЛИ (ИЛИ-НЕ)

$\begin{Bmatrix} 0 & X & X \\ X & 0 & X \end{Bmatrix}$. Аналогично строятся условия существенности для других predefined операторов HDL. В этом случае РПС для ошибки «ИЛИ / И» для элемента 6 имеет вид 11011100. Эталон – "0" на линии 15.

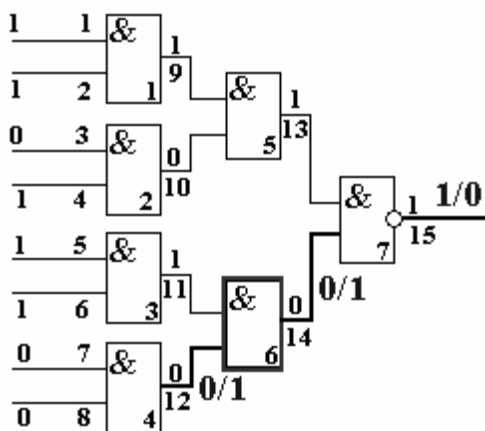


Рис. 10. «Доискивание» на примере структурно-функциональной модели схемы

В результате моделирования РПС на неисправной схеме (коде с ошибкой) на выходе 15 (внешний порт описания) получаем "1". Реализация метода обратного прослеживания показана в таблице.

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | результат |
| | | | | | | | | | | | | | | | линия 15 |
| | | | | | | | | | | | | | | | ∩ |
| | | | | | | | | | | | | | | | → ∅ |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | x | x | | | линия 14 |
| | | | | | | | | | | | | | | | → ∅ |
| | | | | | | | | | | | | | | | ∩ |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | x | 1 | x | | линия 12 |
| | | | | | | | | | | | | | | | → ∅ |
| | | | | | | | | | | | | | | | → ∅ |

Таким образом, неисправный тот элемент, у которого входом является линия 12, т.е. элемент 6, который был ИЛИ, а стал И (по условиям построения РПС), что и требовалось доказать. На рис. 10 жирным шрифтом выделен путь обратного прослеживания и ошибочный элемент 6.

6. Выводы

Методы поиска дефектов/ошибок проектирования при верификации HDL-моделей позволяют не только говорить о наличии ошибки проектирования, но и точно определить место её возникновения (локализовать дефект).

Общую методику локализации ошибок проектирования в HDL-модели можно определить как последовательность следующих шагов:

1. Тестирование модели на основе подачи РПС.
2. Сужение ОПО на основе структурного метода для многовыходовых моделей.
3. Применение структурного метода поиска для подграфов, ограниченных элементами из ОПО.
4. Применение структурно-функционального метода обратного прослеживания для «доискивания» в подграфах относительно КТ первого рода.

Научная новизна полученных результатов состоит в модификации и применении технологий поиска дефектов в цифровых системах к моделям на языках описания аппаратуры (HDL).

Практическая значимость заключается в возможности автоматизировать поиск ошибок проектирования в HDL-коде в условиях неполной спецификации.

В перспективе данные результаты могут быть включены в систему верификации HDL-кода (Testbench) в качестве режима отладки (debug-функция).

Литература: 1. Сыревич Е.Е., Шкиль А.С., Карасев А.Л., Чегликов Д.И. Тестовая верификация поведенческих языковых моделей цифровых устройств // АСУ и приборы

автоматики. 2006. Вып. 134. С. 4–12. **2.** *Gennadiy Kryvulya, Yevgeniya Syrevitch, Andrey Karasyov, Denis Chegikov.* Test Generation for VHDL Descriptions Verification // Proc. of IEEE East – West Design & Test Workshop. Odessa, Ukraine, September 15 – 19, 2005. P. 191 -195. **3.** *Шкиль А.С., Чегликов Д.И., Зинченко Д.Е.* Реализация процедур имплекции на графовой структуре // Радиоэлектронные компьютерные системы. Харьков, 2006. Вып. 6. С. 172-177. **4.** *Kryvulya G., Syrevitch Yev., Karasyov A. Cheglikov D.* Test Generation for VHDL Descriptions Verification // EWDTW'05: Proc. of the International conf. (September 15-19, 2005). Odessa, Ukraine: KhNURE, 2005. P. 191 – 194. **5.** *Кривуля Г.Ф., Хаханов В.И., Шкиль А.С., Бабич А.В.* Структурный метод поиска дефектов в сегменте локальной вычислительной сети // Контрольно-измерительные приборы и автоматика. 2004. №1. С. 18-24. **6.** *Abramovici M., Breuer M., Friedman A.* Digital System Testing and Testable Design // IEEE Press. New York, 1998. 652 p.

Поступила в редколлегию 03.09.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Хаханов В.И.

Шкиль Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: верификация HDL-моделей ЦУ, логическое моделирование, дистанционное образование. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26.

Сыревич Евгения Ефимовна, канд. техн. наук, ассистент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: верификация HDL-моделей, проектирование на ПЛИС. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26. E-mail: Syr_Jane@gambler.ru

Кучеренко Дария Ефимовна, стажер-исследователь кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: верификация HDL-моделей, диагностика компьютерных неисправностей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26. E-mail: d_zin@ukr.net.

Фастовец Геннадий Федорович, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: структурные методы диагностирования моделей ЦУ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 702-13-26.

ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов
научно-технического журнала

"Радиоэлектроника и информатика"

Тематика: радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

Формат страницы — А4 (210x297 мм), поля: сверху — 15, справа, слева, снизу — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор: Pagemaker 6.0 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times ET (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи — от 2 до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

Структура рукописи: заголовок, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

ФАМИЛИЯ И.О.

(Название желаемого раздела тематики)

Аннотация (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

1. Название раздела

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и разделяются нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

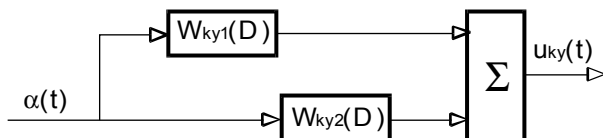


Рис. 1. Арабские цифры и буквы под иллюстрацией

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл.1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Excel.

Таблица 1

| Ш ar i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------|---|---|---|---|---|---|
| $\Phi_1(1,3)$ | 1 | 2 | 2 | 4 | 6 | 1 |
| $\Phi_1(1,4)$ | 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 8 |

Формулы нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуемая высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+i} = \sum_{i=1}^{b^k} F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h^2} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X^{\sum n^k} \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Литература (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

Литература: 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника / Под ред. И.О. Фамилия.* Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.00

Рецензент: должность, ученая степень, Фамилия, И.О.

Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

Рефераты представляются на украинском и английском языках.

УДК 000.000.00

Назва статті / Ініціали. Прізвище // Радиоелектроніка та інформатика. 2000. № 00. С. 00-00.

Текст реферата.

Табл. 00. Лл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

Title of paper / Initials. Surname // Radioelektronika i informatika. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией автора*, на дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов — для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЕ, комната 321, тел. 70-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua; hahanov@kture.kharkov.ua. http://kiu.kture.kharkov.ua/ri

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники (протокол № 1 от 27.09.2008)

Підписано до друку 27.09.2008. Формат 60x84¹/₈.

Умов. друк. арк. . Облік.-вид. арк. . Зам. № . Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано в навчально-науковому видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ.

61166, Харків, просп. Леніна, 14.