

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 2(69), апрель – июнь 2015

Выходит 4 раза в год

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2015

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

РИ, 2015, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

РЯБУХА Ю.Н. ТЕХНОЛОГИЯ БЫСТРОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНФОРМАЦИОННОГО РЕСУРСА В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ...3

СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

ПАНКРАТОВ А.В. PНI-ФУНКЦИИ ДЛЯ ЭЛЛИПСОВ, АППРОКСИМИРОВАННЫХ ДУГАМИ ОКРУЖНОСТЕЙ.....6

ГИБКИНА Н.В., МАРТЫНЕНКО М.С., СИДОРОВ М.В. ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВОМ ОДНОРОДНОЙ ПЛАСТИНЫ.....10

ЛУХАНИН В.С. ПРО ПОБУДОВУ ДВОСТОРОННІХ НАБЛИЖЕНЬ ДО ДОДАТНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЕЛІПТИЧНОЇ КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ З ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЮ МАЖОРАНТОЮ.....16

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ШКИЛЬ А.С. ПОИСК ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПОВЕДЕНЧЕСКИХ HDL-МОДЕЛЯХ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ.....19

ХАХАНОВ В.И., ЛИТВИНОВА Е.И., ЗАЙЧЕНКО С.А., ГУРЕЕВ Б.Н., ШЛЯХТУН М.М. КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ.....25

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

БОЖИНСКИЙ И.А. МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И РАСПРЕДЕЛЕННЫХ БАЗ ДАННЫХ.....30

ЗУБКО С.І., ШВЕЦЬ Є.Я. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ І АПАРАТУРИ УПРАВЛІННЯ КОРИГУВАННЯМ ЛЕГУЮЧИХ ДОМІШОК ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТАКТУ З ОРГАНІЧНОГО НАПІВПРОВІДНИКА РС СТРУКТУР AL/PCAL/POR-SI/N-SI/ITO І CU/PCCU/ POR-SI/N-SI/ITO.....37

ПОДГОРНЫЙ А.Р., СИДОРОВ М.В., ЯЛОВЕГА И.Г. ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ОДНОМЕРНОЙ ЗАДАЧИ СТЕФАНА.....45

ЛАМТЮГОВА С.Н. ПРИМЕНЕНИЕ ИТЕРАЦИОННЫХ МЕТОДОВ К РАСЧЕТУ ОБТЕКАНИЯ ТЕЛ СТАЦИОНАРНЫМ ПОТОКОМ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ.....49

ГРАБОВСЬКА Н.Р., РУСИН Б.П., ІВАНЮК В.Г., КАПШІЙ О.В. ПОХИБКА ТРИВИМІРНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ ПОВЕРХНІ ТРИЩИНІ ЗА ТРІАДОЮ ЗОБРАЖЕНЬ.....57

РЕФЕРАТИ.....63

CALL FOR PAPER “EAST-WEST DESIGN AND TEST SYMPOSIUM 2015”66

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА.....67

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК681.326

ПОИСК ОШИБОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ПОВЕДЕНЧЕСКИХ HDL-МОДЕЛЯХ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ПРОСЛЕЖИВАНИЯ

ШКИЛЬ А.С.

Предлагается метод поиска ошибок проектирования в HDL-моделях цифровых устройств поведенческого стиля описания. В качестве ошибок проектирования рассматривается замена операндов в арифметических или логических выражениях. Для повышения глубины поиска ошибок проектирования применяется метод обратного прослеживания в эквивалентных схемах функционально-блочного уровня с использованием кубического исчисления. Приводится пример реализации метода для фрагмента VHDL-модели арифметико-логического устройства.

1. Введение и постановка задачи

Основными задачами развития рынка современной микроэлектроники являются снижение стоимости и сокращение времени проектирования, что достигается совершенствованием технического, информационного и программного обеспечения систем автоматизированного проектирования радиоэлектронной аппаратуры (САПР РЭА). Наиболее сложным и затратным этапом в современном цикле проектирования цифровых устройств (ЦУ) является функциональная верификация – процесс обнаружения, локализации и устранения ошибок в системной модели относительно спецификации, на что затрачивается до 70% общего времени проектирования. Основной формой описания проектов цифровых устройств в САПР РЭА являются языки описания аппаратуры – Hardware Description Language (HDL), поэтому объектом верификации есть HDL-код модели ЦУ, написанной на языке описания аппаратуры. Особенный вес приобретает верификация HDL-моделей на ранних стадиях проектирования, что позволяет сократить время проектирования и снизить расходы на создание цифрового изделия в целом. Важной составной частью процесса верификации HDL-моделей является поиск и исправление ошибок проектирования при фиксации несоответствия между результатами моделирования HDL-кода и спецификации на проектируемое устройство, что обусловлено как неточностью спецификации, так и человеческим фактором при написании HDL-кода.

Структура HDL-модели ЦУ зависит от формы и выбранного стиля языкового описания модели. На основании спецификации строится HDL-код модели и для него составляется список ошибок проектирования. Под ошибкой проектирования понимается ошибка в HDL-операторе, не относящаяся к классу синтаксических и нарушающая алгоритм функционирования модели устройства, заданный спецификацией. Далее рассматриваются типы ошибок проектирования: «замена оператора» (логического или арифметического) и «замена операнда» (в операторах назначения или в условных операторах).

Одной из главных задач при поиске ошибок проектирования в HDL-моделях ЦУ является отсутствие эталонной модели. При диагностировании аппаратной реализации ЦУ всегда присутствует схемная или аналитическая (табличная) модель устройства, по которой можно вычислить эталонные реакции в любой точке схемы, или имеется в наличии идеальное работоспособное устройство, эталонные реакции для которого можно получить в ходе физического эксперимента. При диагностировании HDL-модели, как правило, имеется только код, правильность которого должна быть проверена в ходе диагностического эксперимента (ДЭ), и спецификация, по которой данный код составлялся. Проблема получения эталонов при функциональной верификации состоит в том, что спецификация обычно неформальная (нет однозначного соответствия между входными воздействиями и выходными реакциями), является неполной (не все режимы, реализованные HDL-коде, описаны), что часто не позволяет получить эталонные реакции в явном виде.

Модели на языках описания аппаратуры обладают свойством двойственности. С одной стороны, они формально выглядят и ведут себя как коды на языках программирования (наличие формальных языковых конструкций и специализированных сред разработки), с другой – обладают рядом кардинальных отличий, присущих аппаратуре (сигналы, параллелизм, синтезируемость). Отсюда невозможно тестировать и диагностировать такие модели исключительно методами верификации программного обеспечения (ПО) или методами диагностирования аппаратуры. С точки зрения уменьшения размерности задачи диагностирования целесообразно подойти к HDL-коду, как к аппаратуре, и в соответствии с этим строить тесты и проводить ДЭ с использованием процедур аппаратной тестовой диагностики.

В качестве модели объекта диагностирования предлагается использовать графовое представление описания устройства на HDL, которое задается в виде двух графов. Информационный I-граф описывает преобразование данных (подобно операционному автомату в классической композиционной модели с микропрограммным управлением) без учета условных ветвей. I-граф содержит два типа вершин: операнды и функции. Типы операндов: целые числа и беззнаковые векторы.

Типы функций ограничены синтезируемым подмножеством HDL или конструкциями, которые имеют физические эквиваленты в системах синтеза и имплементации в САПР. Управляющий С-граф соответствует цепочке условий, соответствующих рассматриваемому оператору. С-граф содержит условные конструкции (например, case, if...then..., with ... select), взятые из исходного описания ЦУ. С-граф – это структура с двумя типами вершин: условиями и метками. Вершины условий содержат вычисляемые операторы. Вершины меток – конечные, не имеющие входной дуги и содержащие имя метки. Результат моделирования С-графа – набор меток, по которым осуществляются переходы в I-графе. В такой интерпретации С-граф соответствует управляющему автомату [1].

Для декомпозиции исходного I-графа используются контрольные точки (КТ), аналогично наблюдаемым линиям при генерации тестов, которые позволяли «разбить» путь активизации и определить границы подграфов. При этом ошибка проектирования транспортируется на внешний выход каждого подграфа. Особенностью диагностирования HDL-модели является отсутствие эталонного HDL-кода или полной спецификации, поэтому вычислить эталонные значения сигналов во всех КТ без привлечения внешних способов невозможно. Исходя из этого, определяются два типа наблюдаемых точек, используемых при поиске места возникновения ошибки в HDL-коде. КТ первого рода – сигналы (переменные) модели, которые наблюдаются, где эталонные значения известны из спецификации. КТ второго рода – сигналы (переменные) модели, значения в которых наблюдаемы, но до начала ДЭ эти значения неизвестны.

Учитывая, что HDL-операторы, выбранные в качестве функциональных примитивных элементов (ПЭ), не содержат внутри себя ошибок, очевидно, что подача на ПЭ тестов проверки исправности является нецелесообразной. Поэтому смысл тестирования ПЭ состоит не в проверке правильности функционирования, а в идентификации его типа. Таким образом, на примитив необходимо подавать такие тестовые наборы, чтобы после анализа реакций на них можно было идентифицировать тип (функцию) примитива и отличить его от других ПЭ. Такие различающие последовательности (РПС) позволяют найти ошибки, связанные с заменой операторов в HDL-коде. Ошибки в выражениях, как правило, связаны с заменой операндов в арифметических, логических или условных операторах [2].

Целью данного исследования является существенное уменьшение времени проектирования цифровых изделий путем разработки углубленного метода поиска ошибок проектирования в HDL-моделях поведенческого уровня описания в условиях неполной спецификации.

2. Общая стратегия поиска ошибок проектирования в HDL-моделях

Процесс проведения алгоритма диагностирования называют, как правило, диагностическим экспериментом. Диагностический эксперимент над HDL-кодом осуществляется в два этапа. На первом проводится безусловный эксперимент путем подачи на входы 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.

По результатам проведения первого этапа диагностического эксперимента (подачи теста для определения ошибки проектирования в описании) формируется вектор экспериментальной проверки (ВЭП): $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$, где m – количество контрольных точек первого рода.

ВЭП указывает, на какие выходы влияет модельная или реальная ошибка проектирования. Координаты ВЭП вычисляются:

$$v_i = \begin{cases} 0, & \text{если } S_i^{\text{ЭТ}} = S_i^{\text{ЭКС}}; \\ 1, & \text{если } S_i^{\text{ЭТ}} \neq S_i^{\text{ЭКС}}, \end{cases}$$

где $S_i^{\text{ЭТ}}$ и $S_i^{\text{ЭКС}}$ – результаты эталонной и экспериментальной реакции соответственно в i -й КТ первого рода.

Общую методику диагностирования HDL-модели можно определить такой последовательностью шагов [2]:

- 1) структурная декомпозиция HDL-модели, составление графовой модели на основе I-графа и С-графа, псевдоразрыв обратных связей;
- 2) определение класса ошибок проектирования, составление РПС для них, тестирование модели на основе подачи РПС и сравнение с имеющимися эталонами;
- 3) для небольших фрагментов HDL-кода применение функционального метода поиска ошибок проектирования с применением словарей неисправностей на основе таблиц функций неисправностей;
- 4) сужение области подозреваемых дефектов на основе структурного метода минимизации пространства неисправностей заданного класса для многовыходных моделей;
- 5) применение структурного метода поиска для подграфов с контрольными точками первого рода;
- 6) применение структурно-функционального метода обратного прослеживания для уточнения диагноза в подграфах, ограниченных контрольными точками первого рода.

В спецификациях HDL-моделей реальных цифровых устройств контрольных точек первого рода, в которых известны значения эталонных сигналов до начала верификации HDL-кода, как правило, немного. Поэтому локализация до подграфа с выходной КТ первого рода является недостаточной. Желательно локализацию ошибочных операторов проводить до КТ второго рода, но эталоны, как правило, отсутствуют. Выходом из этого положения является применение в подграфе, где выходом есть КТ первого рода, метода обратного прослеживания, который первоначально был ориентирован на поиск константных неисправностей в цифровых схемах в условиях отсутствия эталонов во внутренних точках. Классический метод обратного прослеживания, который схемотехники называют методом уточнения диагноза, основан на использовании следующих компонентов и условий:

1. Структурно-функциональное модель-устройство с доступными для наблюдения внутренними линиями.
2. Существенность каждого элемента.
3. Тест, который активизирует все пути в схеме.
4. Эталонные реакции на внешнем выходе модели.
5. Наличие в схеме одиночной константной неисправности.

Суть метода состоит в следующем: подается тест на схему с подозреваемой неисправностью и фиксируется реакция на внешнем выходе схемы. Если на внешнем выходе схемы реальное значение не совпадает с эталонным, то выполняется импликация назад с использованием условий существенности до тех пор, пока не исчезнет различие между реальными значениями и эталонными. Последняя из линий схемы, на которой наблюдается несовпадение, признается неисправной. Метод применяется для одновходовых схем в предположении о наличии в них одиночных неисправностей.

Для использования данного метода при уточнении диагноза в классе эквивалентных ошибок проектирования HDL-кода необходима модификация метода. Введем понятие эквивалентной цифровой схемы функционально-блочного уровня, результаты моделирования которой совпадают с результатами моделирования HDL-кода на входных воздействиях из спецификации. Эквивалентная схема в общем случае может быть результатом функционального синтеза, но может и отличаться, поскольку многие синтезаторы значительно оптимизируют HDL-код.

Исходя из этого, принимаются следующие ограничения и предположения.

1. Модель фрагмента HDL-кода есть структурно-функциональная модель эквивалентной схемы, примитивами которой являются предопределенные операторы или логические условия HDL-кода.

2. Класс неисправностей (ошибок проектирования) – замена функционального элемента или изменение логического условия.

3. Все операнды HDL-модели (переменные и сигналы) считаются исправными (правильными). Замена операндов не рассматривается.

4. В качестве тестов используются те, которые построены на основе РПС для каждого функционального элемента и транспортированы до КТ первого рода (внешних выходов схемы).

5. Для HDL-моделей, синтезируемых в последовательностные структуры, цепи сброса и синхронизации считаются исправными. Это достигается путем предварительного инспектирования указанных сигналов и переменных в HDL-коде.

6. Неисправным (ошибочным) признается функциональный элемент, на входах которого при обратном прослеживании наблюдается последнее несовпадение с эталоном.

7. Если несовпадение с эталоном распространяется до внешнего входа, то неисправный элемент лежит на пути обратного прослеживания.

Алгоритм уточнения диагноза имеет следующие пункты.

1. Выполняется моделирование РПС-теста на реальной HDL-модели до внешнего выхода (КТ первого рода).

2. Если на выходе обнаружено несовпадение с эталоном из спецификации, то осуществляется процедура обратного прослеживания.

3. Обратное прослеживание выполняется путем пересечения текущего вектора с условиями существенности обрабатываемого ФЭ до тех пор, пока результат не станет равным \emptyset , или не будут достигнуты внешние входы.

4. Из непустых результатов пересечений формируется подмножество подозреваемых элементов. Если у какого-то из вариантов обратное прослеживание достигло внешних входов, то необходимо провести инспекцию HDL-кода вдоль данного пути обратного прослеживания, начиная от внешних входов в процессе уточнения диагноза. Под инспекцией кода понимается визуальный анализ перечня подозреваемых HDL-операторов в целях обнаружения (искомых) ошибок проектирования (для которых строились РПС-тесты).

Пример применения метода обратного прослеживания в HDL-моделях стиля «поток данных» приведен в [3].

3. Метод обратного прослеживания в поведенческих HDL-моделях

Рассмотрим проведение ДЭ над моделью цифрового устройства на языке VHDL, в результате которого локализован фрагмент VHDL-кода поведенческого стиля описания, внутри которого нет контрольных

точек первого рода, иначе говоря, эталонные значения для внутренних сигналов (переменных) фрагмента кода из спецификации неизвестны. Задан перечень ошибок проектирования (ограничения на перечень), которые могут присутствовать в данном фрагменте кода. Предполагается, что в VHDL-коде присутствует одиночная ошибка проектирования типа «замена операнда в условном выражении» (ошибочная ветвь в условном операторе). Необходимо повысить глубину диагностирования для обнаружения ошибок проектирования в VHDL-коде с точностью до оператора HDL (группы эквивалентных операторов).

Метод уточнения диагноза использует в качестве моделей элементов табличные описания, поэтому при рассмотрении логических операторов внутри процессов в VHDL-коде возникает проблема представления (if, case) в табличном виде. Предлагается при обратном прослеживании указанные операторы представлять не в виде элементов управляющего графа, а в виде табличных представлений мультиплексоров и АЛУ-подобных элементов, независимо от того, как указанные операторы будут синтезироваться.

Для представления внутреннего поведения компонентов в сложных VHDL-моделях служит конструкция process(), которая определяет поведенческий стиль описания модели. Данная конструкция дает возможность использовать условные конструкции и последовательный характер выполнения операторов, что свойственно традиционному языку программирования.

Кроме операторов параллельного назначения сигналов (ПНС) в VHDL-коде поведенческого стиля присутствуют последовательные и условные операторы (if, case), которые представляют особый интерес при выполнении процедуры обратного прослеживания, поскольку в рассматриваемой графовой модели они находятся на стыке I- и C-графов.

Рассмотрим форму и способ построения покрытий существенности условных операторов. Первоначально рассмотрим оператор if:

**If((X1 and X2) or (X3 and X4)) Y<=D1;
else Y<=D2;**

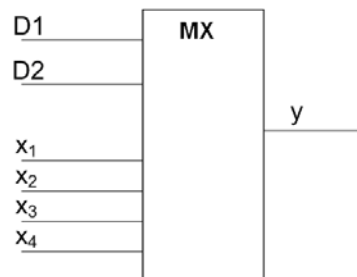
Оператор if(C), реализующий двухвыходовую условную вершину, состоит из логического условия C и двух выполняемых операторов ПНС или присваивания значений переменных. Логическое условие C в операторе if(C) представляет собой уравнение, решение которого в кубической форме представлено на рис. 1.

	X1	X2	X3	X4	C
	0	X	0	X	0
	0	X	X	0	0
	X	0	0	X	0
	X	0	X	0	0
	1	1	X	X	1
	X	X	1	1	1

$C = X1 \cdot X2 \vee X3 \cdot X4$

Рис. 1. Решение уравнения по логическому условию

Таким образом, оператор if(C) может быть представлен моделью мультиплексора с двумя информационными входами, группой управляющих входов и одним (двумя) выходом (два выхода будет в случае, если назначение выполняется для различных сигналов). Эквивалентная схема мультиплексора и покрытие существенности оператора if(C) относительно информационных входов представлены на рис. 2.



X1	X2	X3	X4	D1	D2	Y
0	X	0	X	X	Z	Z
0	X	X	0	X	Z	Z
X	0	0	X	X	Z	Z
X	0	X	0	X	Z	Z
1	1	X	X	Z	X	Z
X	X	1	1	Z	X	Z

Рис. 2. Модель оператора if() и его покрытие существенности

Кроме оператора if() к условным операторам можно отнести и оператор case(), который реализует многовыходовую условную вершину. Фрагмент VHDL-кода с оператором case() представлен на рис. 3.

```

process( )
variable xxx : in std_logic_vector(2 downto 0);
begin
  case xxx is
    when "000"=> Y<=D1;
    when "001"=> Y<=D2;
    when "010"=> Y<=D3;
    when "011"=> Y<=D4;
    when "100"=> Y<=D5;
    when "101"=> Y<=D6;
    when "110"=> Y<=D7;
    when "111"=> Y<=D8;
  end case; end process;

```

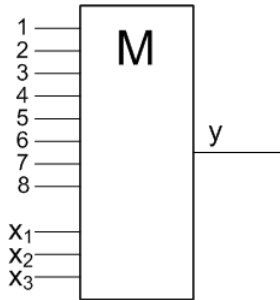
Рис. 3. Фрагмент VHDL-кода с оператором case()

Модель оператора case() в форме мультиплексора и его покрытие существенности представлены на рис. 4.

Покажем пример применения изложенного метода. Рассмотрим фрагмент поведенческого описания АЛУ, спецификация на который представлена в табл. 1, а VHDL-модель показана на рис. 5.

Таблица 1

Reset (R)	Control (C)	Output (Y)
0	X	1
1	0	Y=A & B
1	1	Y=A v B



1	2	3	4	5	6	7	8	X1	X2	X3	Y
Z	X	X	X	X	X	X	X	0	0	0	Z
X	Z	X	X	X	X	X	X	0	0	1	Z
X	X	Z	X	X	X	X	X	0	1	0	Z
X	X	X	Z	X	X	X	X	0	1	1	Z
X	X	X	X	Z	X	X	X	1	0	0	Z
X	X	X	X	X	Z	X	X	1	0	1	Z
X	X	X	X	X	X	Z	X	1	1	0	Z
X	X	X	X	X	X	X	Z	1	1	1	Z

Рис. 4. Модель оператора case() и его покрытие существенности

Entity SCH2 is

Port (R,C,A,B : in bit; Y : out bit);

End;

Architecture BEH2 of SCH2 is

begin

process(R,C,A,B)

begin

if(R = '0')then Y <= '1';

elseif(C = '0') then Y <= A and B;

else Y <= A or B;

end if;

end process; End;

Рис. 5. VHDL-модель фрагмента АЛУ поведенческого стиля описания

Эквивалентная структурно-функциональная модель приведена на рис. 6, что соответствует результатам синтеза рассматриваемого фрагмента VHDL-кода, а покрытие существенности оператора if()-else() в виде мультиплексора 2 на 1 представлено на рис. 7.

Таблица 2

Reset									Y=A & B, Y=A v B								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1

Проверка условных конструкций VHDL-кода состоит в построении РПС-тестов для всех ветвей условных операторов. В табл. 2 приведены РПС-тесты и эталонные реакции для трех ветвей комплексного условного оператора if()-elsif()-else() из VHDL-модели АЛУ на рис. 5. Эталонные реакции получены из спецификации (см. табл. 1).

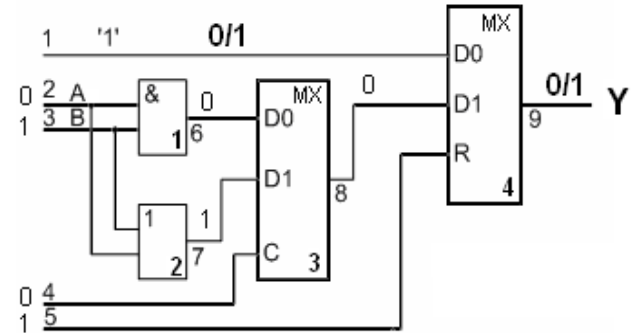


Рис. 6. Эквивалентная схема фрагмента АЛУ для РПС-теста(10010001)

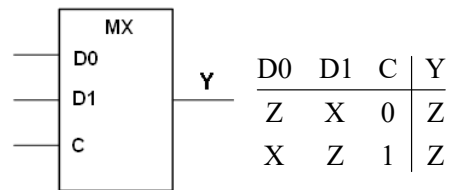


Рис. 7. Покрытие существенности оператора if() -else()

Рассмотрим ошибку проектирования в операторе ПНС логического выражения:

if(R = '0')then Y<='1';

а именно if(R = '0')then Y<='0'.

Результаты моделирования ошибочного VHDL-кода приведены для входного набора РПС-теста 10010 на рис. 8, а, а для набора РПС-теста 10011 – на рис. 8, б. На входном наборе 10010 наблюдается несовпадение с эталоном (в спецификации Y=1, а в результате моделирования получено Y=0).

Результаты обратного прослеживания для теста 10010 приведены в табл. 3.

Таблица 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	0	1	0	0	0	0	0	Эталон 1
									z
x				1				z	z
z				0				x	z
z	0	0	1	0	0	0	0	z	Внешний вход 1

Signal name	Value	20 ns
R	5	0
C	4	1
A	2	0
B	3	0
Y	0	

а

Signal name	Value	20 ns
R	5	1
C	4	1
A	2	0
B	3	0
Y	0	

б

Рис.8. Результат моделирования VHDL-модели с ошибкой `if(R='0')then Y<='0'`

Последняя существенная линия 1 является входом оператора `if(R='0') then Y <= '0'`; что означает – данный оператор и является ошибочным.

Рассмотрим другую ошибку проектирования в условном операторе:

`elsif(C = '0') then Y <=A and B; else Y <=A or B;` а именно замену '0' на '1' в логическом условии : `elsif(C = '1') then Y <=A and B;`

Результаты моделирования ошибочного VHDL-кода приведены для входного набора РПС-теста 10101 на рис. 9, а, а для набора РПС-теста 10111 – на рис. 9,б. На входном наборе 10101 наблюдается несовпадение с эталоном (в спецификации Y=0, а в результате моделирования получено Y=1).

Signal name	Value	20 ns
R	5	1
C	4	0
A	2	0
B	3	1
Y	1	

а

Signal name	Value	20 ns
R	5	1
C	4	1
A	2	0
B	3	1
Y	1	

б

Рис.9. Результат моделирования VHDL-модели с ошибкой `elsif(C = '1') then Y <=A and B`

Результаты обратного прослеживания для теста 10101 приведены в табл. 4.

Несовпадение с эталоном наблюдается вдоль пути 2 – 6 – 8 – 9. Таким образом, подозреваемым является оператор `elsif(C = '1') then Y <=A and B;` а именно, существует наличие ошибки в логическом условии (C = '1') или в операторе ПНС `Y <=A and B;`. Инспекция кода подтверждает ошибку в логическом условии указанного оператора.

Таблица 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0	1	0	1	0	1	1	1	Эталон 0
								z	Линия 9 сущ
z				0			x	z	→ ∅
x				1			z	z	∩ ≠ ∅
1	0	1	0	1	0	1	z	z	Линия 8 сущ
				0			z	x	z
				1			x	z	z
									→ ∅
1	0	1	0	1	z	1	z	z	Линия 6 сущ
				z	1				∩ ≠ ∅
				1	z				→ ∅
1	z	1	0	1	z	1	z	z	Внешний вход 2

4. Выводы

Научная новизна. Впервые разработан метод «обратного прослеживания», повышающий глубину поиска ошибок проектирования в поведенческих HDL-моделях цифровых устройств, представленных на языке описания аппаратуры VHDL в условиях неполной спецификации путем реализации обратного прослеживания на структурно-функциональной модели фрагмента HDL-кода функционально-блочного уровня с использованием операций кубического исчисления, а также методов логического моделирования.

Практическая значимость. Разработанный метод совместно с [3] позволяет осуществлять локализацию места возникновения ошибки проектирования в VHDL-моделях разных стилей описания до неверного оператора или операнда внутри подграфа, ограниченного контрольными точками первого рода. Данные методы поиска ошибок проектирования в VHDL-коде интегрированы в систему автоматизированного проектирования Active-HDL, что позволяет сократить временные затраты на поиск ошибок проектирования при функциональной верификации проектов ЦУ.

Литература: 1.Шкиль А.С. Структурное и функциональное диагностирование HDL-моделей цифровых устройств в САПР РЭА /А.С. Шкиль, Е.Е. Сыревич, С. Альмадхоун, Г.П. Фастовец // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2013. № 2. С. 75-82. 2.Шкиль А.С. Поиск ошибок проектирования в HDL-моделях цифровых устройств / А.С. Шкиль, Е.Е. Сыревич, С. Альмадхоун // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія: міжнародна науково-практична конф., Вінниця, 19-21 травня 2010. Вінниця, ВНТУ, 2010. С. 377-378. 3.Шкиль А.С. Метод обратного прослеживания для поиска ошибок

проектирования в HDL-коде / *А.С. Шкиль, Е.Е. Сыревич, Д.Е. Кучеренко, С. Альмадхоун* // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. 2009. №2. С. 86-90.

Поступила в редколлегию 11.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

УДК004:519.713

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ

*ХАХАНОВ В.И., ЛИТВИНОВА Е.И.,
ЗАЙЧЕНКО С.А., ГУРЕЕВ Б.Н., ШЛЯХТУН М.М.*

Предлагается инфраструктура обеспечения параллельного анализа big data для поиска, распознавания и принятия решений на основе использования булеановой метрики измерения киберпространства. Она характеризуется наличием единственной логической хог-операции для определения кибер-расстояния путем циклического замыкания не менее одного объекта, что дает возможность на порядок повысить быстродействие анализа больших данных. Разрабатывается новая структурная модель анализа big data, которая характеризуется использованием облачных сервисов, киберфизических и поисковых систем, параллельных виртуальных мультипроцессоров с минимальным набором векторно-логических операций для точного поиска информации на основе предложенной булеановой метрики и нечисленных критериев качества. Это дает возможность создавать семантическую инфраструктуру «чистого» киберпространства путем компетентностной классификации и метрического упорядочения big data в масштабах киберэкосистемы планеты.

1. Введение

Киберфизическая система призвана сделать активной концепцию big data, рассматривая большие данные во взаимодействии с киберсистемами (облаками) управления, ориентированными на поиск, распознавание и принятие решений. Структурное содержание CPS (рис. 1) – совокупность коммуникационно связанных реальных и виртуальных компонентов с выраженными функциями адекватного физического циф-

Шкиль Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: логическое моделирование, техническая диагностика компьютерных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, комн. 319.

рового мониторинга и оптимального облачного компьютерного киберуправления для обеспечения качества жизни, продукции, процессов или сервисов в заданных условиях ограничений на время и ресурсы. CPS включает компоненты: Cyber Control, Internet of

Things или Cloud, Security, Intelligence, Big Data and Services, Digital Monitoring, Cyber Managing, Physical Smart Everything, Nature, Social and Tech World. Регуляторные отношения (Relationship) между компонентами CPS формируются законами, уставами предприятий и организаций, морально-этическими правилами поведения внутри социальной группы. Направление движения RoadMap – Harmony of Human, Nature and Tech киберфизической системы человечества можно определить как достижение такого интегрального уровня развития киберфизических компонентов, который обеспечит гармонию жизни человека с природой и техникой (созданным миром – Created World).

Big data – технологическая культура киберпространства, направленная на формирование динамически развивающейся инфраструктуры киберфизической экосистемы планеты путем метрико-семантической структуризации больших потоков (объемов) гетерогенных данных на основе использования интеллектуальных быстродействующих специализированных облачных фильтров параллельного мониторинга и метрического анализа извлекаемой информации для online управления физическими и виртуальными процессами.

Рыночно-привлекательные глобальные проекты сегодня выполняются под эгидой объединения физического и виртуального пространства в единое целое. Киберфизическое пространство (Cyber Physical Space)



Рис. 1. Киберфизическая система управления неприродными процессами

РЕФЕРАТИ

УДК 621.327:681.5

Технологія швидкої тривимірної обробки динамічного інформаційного ресурсу в умовах змінного семантичного змісту / Ю.М. Рябуха // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. №2. С. 3-5.

Показано, що у сфері моніторингу об'єктів в кризових ситуаціях значна роль відводиться комплексам повітряного відеоспостереження. Обґрунтовано, що для систем аеромоніторингу забезпечення інформаційної безпеки пов'язане з виконанням вимог по категоріях доступності і цілісності.

Бібліогр.: 8 назв.

УДК 519.85

Phi-функції для еліпсів, апроксимованих дугами кіл / О.В. Панкратов // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 6–9.

Розглянута задача упаковки набору нерівних по величині еліпсів, що можуть вільно транслюватися і обертатися, у прямокутний контейнер мінімального розміру. Для розробки ефективних алгоритмів оптимізації, заснованих на використанні методів локальної та глобальної оптимізації, побудовані адекватні математичні моделі на ґрунті аналітичного опису відносин еліпсів. Для опису обмежень неперетину і належності виведено нові вільні від радикалів phi-функції для еліпсів, що апроксимовані дугами кола.

Лл. 4. Бібліогр.: 13 назв.

УДК 517.977.56

Про одну задачу оптимального керування нагріванням однорідної пластини / Н.В. Гибкіна, М.С. Мартиненко, М.В. Сидоров // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 10–16.

Розглянуто одну з можливих постановок задач оптимального керування нагріванням однорідної пластини. Визначено такий температурний режим нижньої сторони пластини, що у кінцевий момент часу приводить до розподілу температури у всій пластині, якомога близького до бажаного розподілу. Наведено результати розв'язання задачі оптимального керування для різних типів бажаного розподілу температури та для апроксимуючих співвідношень функції керування у вигляді відрізків подвійного ряду Фур'є різної довжини.

Лл. 8. Бібліогр.: 14 назв.

УДК 519.713

Про побудову двосторонніх наближень до додатного розв'язку еліптичної крайової задачі з експоненціальною мажорантою / В.С. Луханін // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С.16-18.

Розглянуто питання існування, єдиності та побудови двосторонніх наближень до додатного розв'язку однієї еліптичної крайової задачі з експоненціальною нелінійністю. Отримано умови, яким мають задовольняти параметри,

РИ, 2015, № 2

ABSTRACTS

UDC 621.327:681.5

Technology fast 3-d processing dynamic information resource in a changing semantic content/ Yu. Ryabukha // *Radioelektronika i informatika*. 2015. N 2. P. 3-5.

Shown, that in the field monitoring of objects in crisis situations a considerable role gives oneself up complexes air video supervision. Grounded, that for the systems the air monitoring providing of informative safety is related to implementation requirements on the categories availability and integrity. rs on all of vertical lines.

Ref.: 8 items.

UDC 519.85

Phi-functions for ellipses approximated by circular arcs. A.V. Pankratov // *Radioelektronika i informatika*. 2015. N 2. P. 6-9.

The problem of packing a set of nonequal ellipses, allowing continuous rotation and translation in a minimum size rectangular container is considered. To develop efficient optimization algorithms based on the use of methods of local and global optimization, adequate mathematical models based on analytical description of the relationship of the ellipses to be built. For describing nonoverlapping and containment constraints, new radical-free phi-functions are derived for ellipses approximated by circle arcs.

Fig. 4. Ref.: 13 items.

UDC 517.977.56

About one problem of optimal control of the heating of a homogeneous plate / N.V. Gybkina, M.S. Martynenko, M.V. Sidorov // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2 P. 10–16.

The one of the possible formulations of optimal control problems by heating a homogeneous plate was considered. Such temperature mode of the lower side of the plate, which leads to the temperature distribution in the plate at the final moment of time as close as possible to the specified distribution was defined. The results of solving the optimal control problem for different types of specified temperature distribution and for approximating expression of control functions in the form of segments of double Fourier series of different lengths were obtained.

Fig. 8. Ref.: 14 items.

UDC 519.713

On the construction of two-sided approximations to the positive solution of the elliptic boundary value problem with exponential dominant / V.S. Lukhanin // *Radioelektronika i informatika*. 2015. N2. P.16-18.

In this paper the existence, uniqueness and possibility of constructing of two-sided approximations to the positive solution of the elliptic boundary problem with exponential nonlinearity are considered. Conditions that parameters, which are included into the nonlinear part, must satisfy are

63

що входять до нелінійності, щоб двосторонні наближення збіглися до додатного розв'язку розглядуваної задачі. Обчислювальний експеримент проведено у крузі, результати представлено у вигляді графіків поверхні наближення та ліній рівня, а також у вигляді таблиці.

Табл. 1. Іл. 2. Бібліогр.: 3 назви.

УДК 681.326

Пошук помилок проектування у поведінкових HDL-моделях методом зворотного простежування / О.С. Шкіль // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 19 – 25.

Запропоновано метод пошуку помилок проектування в HDL-моделях цифрових пристроїв поведінкового стилю опису. Як помилка проектування розглянута заміна операндів в арифметичних або логічних виразах. Для підвищення глибини пошуку помилок проектування застосовано метод зворотного простежування в еквівалентних схемах функціонально-блочного рівня з використанням кубічного числення. Наданий приклад реалізації метода для фрагменту VHDL-моделі арифметично-логічного пристрою.

Табл. 4. Іл. 9. Бібліогр.: 3 назви.

УДК 004:519.713

Кіберфізичні структури для аналізу великих даних / В.І. Хаханов, Є.І. Литвинова, С.О. Зайченко, Б.М. Гурєєв, М.М. Шляхтун // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 25–29.

Показана нова модель аналізу big data, яка використовує кошти хмарних сервісів, кіберфізичні системи, паралельні віртуальні мультипроцесори з мінімальним набором векторно-логічних операцій для точного пошуку інформації на основі запропонованої булеаної метрики і векторно-логічних критеріїв якості, що дає можливість поступової класифікації та впорядкування даних на основі компетентісної інфраструктуризації big data в масштабах кіберекосистеми планети.

Іл. 3. Бібліогр.: 7 назв.

УДК 621.383.52:537.311.4

Розробка технології і апаратури управління коригуванням легуючих домішок для регулювання характеристик контакту з органічного напівпровідника Рс структур Al/PcAl/por-Si/n-Si/ITO і Cu/PcCu/por-Si/n-Si/ITO / Є.І.Зубко, Є. Я. Швець // *Радіоелектроніка та автоматика*. 2015. № 2. С. 37–45.

У результаті дослідження впливу легування на характер контактів з органічних напівпровідників Рс була створена технологія і апаратура управління процесами коригування легуючих домішок, за якою виявлено оборотне поглинання кисню зі зміною характеру контакту від омичного до випрямляючого для Cu/PcCu/por-Si/n-Si/ITO. Для структур Al/PcAl/por-Si/n-Si/ITO коригування характеристик РсAl здійснюють після операцій плазмового травлення в суміші газів Cl₂ і N₂ в плінні 2 годин та відпалу зразка при 200°C при дії кисню.

Іл. 9. Бібліогр.: 7 назв.

obtained. The conditions guarantee that two-sided approximations converge to the positive solution of the problem. The computational experiment is performed in disk, the results of the experiment are presented as plots of approximate solution surface and level lines and also as a table.

Tab. 1. Fig. 2. Ref.: 3 items.

УДК 681.326

Design errors searching in behavioral HDL-models using the method of backtracking / A.S. Shkil // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2 P. 19–25.

In this paper the method of design errors searching in behavioral HDL-models of digital devices was proposed. Replacement of the operands in the arithmetic or logical expressions is considered as design errors. To increase the depth of design errors searching the method of backtracking in the equivalent circuit of the functional-block level using the cubic calculus was applied. An example of the method implementation for the fragment of the VHDL-model of the arithmetic logic unit was demonstrated.

Tab. 4. Fig. 9. Ref.: 3 items.

UDC 004:519.713

Metrics and Structures for Big Data Analysis / V. I. Hahanov, E. I. Litvinova, S.A. Zaychenko, B.M. Gureev, M.M. Shlyahatun // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2 P. 25–29.

A new model for analyzing big data, based on the use of cloud services, cyber physical systems, parallel virtual multiprocessors with a minimal set of vector-logical operations for accurate information retrieval by using the proposed Boolean metric and vector-logical quality criteria is shown; it allows gradual classifying and ordering data based on the competency structuring big data in the frame of the planet cyber-ecosystem.

Fig. 3. Ref.: 7 items.

UDC 621.383.52:537.311.4

Research of technology and equipment which controls processes of correcting alloying components for regulation of characteristics of contact made of organic semiconductor Pc of structures Al/PcAl/por-Si/n-Si/ITO and Cu/PcCu/por-Si/n-Si/ITO / E.I.Zubko, E.Y.Shvets // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2 P. 37–45.

As a result of research is determined influence of doping on character of contacts from organic semiconductors Pc. The technology and equipment for control of correcting of alloying impurity allows detected turnaround absorption of oxygen with change of character of contact from ohmic to rectifying for Cu/PcCu/por-Si/n-Si/ITO. For structures Al/PcAl/por-Si/n-Si/ITO a correcting of characteristics PcAl were performed after operations of plasma etching in a mix of gases Cl₂ and N₂ for 2 hours and annealing the sample at 200°C in atmosphere of oxygen.

Fig. 9. Ref.: 7 items.

УДК519.63

Чисельний аналіз фазових перетворень на прикладі одновимірної задачі Стефана / О.Р. Подгорний, М.В. Сидоров, І.Г. Яловега // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 45–48.

Розглянуто задачу розрахунку процесу теплопровідності на відрізку при наявності фазових перетворень (одновимірна задача Стефана). Для її чисельного аналізу запропоновано наближено-аналітичний метод, який базується на методі Гальоркіна. Проведено розрахунки для модельної задачі.

Л. 1. Бібліогр.: 9 назв.

УДК517.9:532.5

Застосування ітераційних методів до розрахунку обтікання тіл стаціонарним потоком в'язкої рідини / С.М. Ламтюгова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2015. № 2. С. 49–56.

Розглянуто і обґрунтовано застосування методів R -функцій, послідовних наближень і Бубнова-Гальоркіна до розрахунку обтікання тіл обертання і циліндричних тіл стаціонарним потоком в'язкої рідини. Доведено збіжність побудованого ітераційного процесу при малих числах Рейнольдса, отримані оцінки швидкості збіжності і оцінки розв'язків у енергетичній нормі.

Бібліогр.: 23 назв.

УДК383.8:621.396.96:621.396.6

Похибка тривимірної реконструкції поверхні тріщини за триадою зображень / Н.Р. Грабовська, Б.П. Русин, В.Г. Іванюк, О.В.Капшій // *Радіоелектроніка і інформатика*. 2015. №2. С.57-62.

Розглянуто проблему оцінки похибки тривимірної реконструкції поверхні за двовірними зображеннями. Для відомості зображень запропоновано використовувати три напрямки освітлення. Від точності встановлення напрямків освітлення визначально залежить точність реконструкції. Проведено оцінку похибки реконструкції похідних поверхні залежно від двох напрямків освітлення. Зокрема, на основі тестового зображення тріщини проведено розрахунок оцінки похибки реконструкції похідних поверхні тріщини. В результаті аналізу отриманої залежності представлені рекомендації по встановленню експлуатаційних меж кутів відхилень напрямків освітлення та формуванню діапазонів реконструкції похідних .

Л. 3. Бібліогр.: 16 назв.

UDC 519.63

Numerical analysis of phase transformations on the example of one-dimensional Stefan problem / A.R. Podgornyj, M.V. Sidorov, I.G. Yalovega // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2. P. 45–48.

The problem of calculating the process of thermal conductivity on the segment in the presence of phase transitions (one-dimensional Stefan problem) was considered. For its numerical analysis the approximate analytical method based on the Galerkin method was suggested. The calculations for the model problem were conducted.

Fig. 1. Ref.: 9 items.

UDC 517.9:532.5

The iterative methods application for calculating the flow over body by stationary current of viscous fluid / S.N. Lamtyugova // *Radioelektronika i informatika*. 2015. № 2. P. 49–56.

The application of the R -functions method, the successive approximations method and the Bubnov-Galerkin method to calculate the flow over bodies of revolution and around cylindrical bodies by stationary current of viscous fluid was considered and substantiated. The convergence of the iterative process, constructed at low Reynolds numbers, was proved. The estimates of the convergence rate and solutions assessments in the energy norm were derived.

Ref.: 23 items.

UDC 383.8:621.396.96:621.396.6

An error of three-dimensional reconstruction of surface of crack is after the triad of images / Hrabovcska N.R., Rusyn B.P., Ivanyuk V.G., Kapshiy O.V. // *Radioelektronika i informatika*. 2015. №2. P. 57-62.

The article considers the problem of error estimation for three-dimensional surface reconstruction with two-dimensional images. For recording images it offers to use three directions of illumination. The accuracy of the determination of directions of illumination initially depends on the accuracy of the reconstruction. The estimation error of the reconstruction of the derivatives of the surface depending on two directions of illumination. In particular, based on the test image of the crack was calculated estimate of the error of reconstruction of the derivatives of the surface cracks. The analysis of this dependences presented recommendations for establishing operating limits of the angular deviations of the directions of illumination and formation ranges of the reconstruction of derivatives .

Fig.3. Ref.: 16 items.
