

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК681.326:519.713

ЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ПОИСКА ДЕФЕКТОВ ПО ТАБЛИЦЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

ХАХАНОВ В.И., ТИЕКУРА ИВ (TIECOURA YVES)

Предлагается алгебрологический векторный метод диагностирования неисправностей цифровых систем и их компонентов, основанный на использовании таблицы неисправностей и транзакционного графа. Метод позволяет уменьшить время верификации программных моделей.

1. Введение

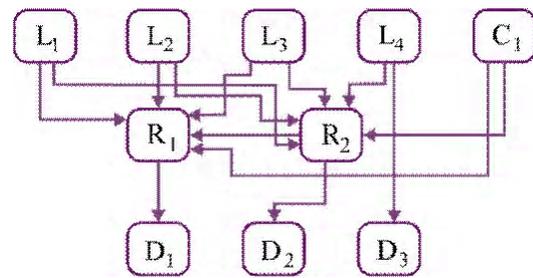
Логический ассоциативный граф совместно с метрикой оценивания решения предлагает интересную формулировку задачи технического диагностирования цифровых систем на кристаллах. Нельзя сказать, что данное направление является белым пятном в технической диагностике. Метод приближения [6] использует минимальное кодовое расстояние для поиска дефектов в цифровых структурах. Его недостатки связаны с ориентацией на одиночные константные неисправности булевых переменных, что порождает неприемлемо большой размер таблиц неисправностей для изделий, содержащих миллионы эквивалентных вентилях. Предлагаемый далее метод использует инфраструктуру диагностирования, состоящую из таблицы, но уже не элементарных дефектов, а неисправных функциональных компонентов (подсхем), и вектора экспериментальной проверки, но с существенным дополнением для формирования более точного решения на основе использования интегрального критерия качества.

Метод рассматривается на примере транзакционного графа одного из программных модулей Row_buffer, используемых при создании IP-core вейвлет-преобразования для стандарта JPEG 2000 (рис. 1). Вершины графа представлены входными шинами и переменными, регистрами и выходными шинами. Дуги между ними означают существование транзакций между вершинами при выполнении операторов HDL-кода.

Источники научно-технической информации: 1. Проектирование, тестирование и верификация цифровых систем на кристаллах [1, 2, 5]. 2. Интеллектуальное управление в динамических системах и проектирование программного обеспечения [3, 4].

Целью данного исследования является разработка алгебрологического векторного метода диагностирования неисправностей, основанного на синтезе таблицы неисправностей и транзакционного графа, что позволяет существенно уменьшить время верификации программной модели изделия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) разработка алгебрологического векторного метода диагностирования неисправностей на основе синтеза таблицы неисправностей и транзакционного графа; 2) создание структур данных и процесс-моделей для решения задачи диагностирования.



Row_buffer транзакционный граф

Для данного Row_buffer графа построена табл.1, задающая поведение неисправных блоков В на сгенерированном тесте А путем использования системы моделирования и генерации тестов SIGETEST [17]:

Test	B ₁ L ₁	B ₂ L ₂	B ₃ L ₃	B ₄ L ₄	B ₅ C ₁	B ₆ R ₁	B ₇ R ₂	B ₈ D ₁	B ₉ D ₂	B ₁₀ D ₃	m ^b ₁	m ^b ₂
A ₁	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
A ₂	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
A ₃	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1
A ₄	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0
A ₅	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0
A ₆	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
A ₇	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
A ₈	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
A ₉	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0
A ₁₀	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
A ₁₁	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
A ₁₂	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
A ₁₃	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0

2. Логический метод анализа таблиц неисправностей

Метод основан на применении операции логического умножения или конъюнкции вектора экспериментальной проверки, формально рассматриваемого в качестве входного вектор-столбца или маски m, на столбцы таблицы неисправностей:

$$m^b \wedge (B_1 \vee B_2 \vee \dots \vee B_j \vee \dots \vee B_m)$$

и подсчете качества взаимодействия векторов $Q_j(m^b \wedge B_j)$ в целях выбора лучшего из них при наличии максимальной оценки. При этом столбец $B_j \in A$ фактически идентифицирует метрику поведения неисправности или дефектного блока на тестовых

наборах. Предикатная запись процесса получения решения в виде совокупности ошибок, присутствующих в HDL-коде, представлена в следующем виде:

$$\begin{aligned} P^S &= P^S \bigvee_{i=1}^n [B_j \leftarrow \max(Q_j(m^b \wedge B_j))]; \\ P^m &= P^m \bigvee_{i=1}^n [B_j \leftarrow (m^b \wedge B_j = B_j)] \leftarrow \\ &\leftarrow Q[m^b \wedge (\bigvee_{j=1}^m B_j \in P^m)] = 1 \vee \max; \end{aligned} \quad (1)$$

здесь вектор экспериментальной проверки

$$m^b = f(A, B) \oplus f^*(A, B, L) \quad (2)$$

есть результат проведения тестового эксперимента – сравнение функционалов (состояний выходов) эталонного $f(A, B)$ и реального $f^*(A, B, L)$ устройства с дефектами L на тестовых наборах A .

Достоинство метода – выбор всегда лучшего решения из всех возможных как для одиночных, так и для кратных дефектов. В последнем случае, если одиночный дефект не идентифицируется оценкой, равной 1, выполняется дизъюнкция вектор-строк. Это есть главное отличие метода от существующих технологий [1-5], которые формируют оценку качества, равную 1, или максимально близкую к значению единицы

$Q[m^b \wedge (\bigvee_{j=1}^m B_j \in P^m)] = 1 \vee \max$. По существу, в список кратных дефектов включаются такие одиночные неисправности, которые при логическом умножении на вектор экспериментальной проверки дают результат в виде соответствующего вектор-столбца. Дизъюнкция всех столбцов, составляющих решение, равна

$$\bigvee_{j=1}^m (B_j \in P^m) = m^b.$$

Используя таблицу и процедуры диагностирования (1), можно определить дефектные компоненты программного кода модуля Row_buffer методом логического умножения вектор-столбцов таблицы истинности на вектор экспериментальной проверки. Здесь векторы m_1^b , m_2^b формируют результаты диагностического эксперимента, выполненные по технологии (2). Результат диагностирования одиночных и кратных дефектов имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} P^S(m_1^b) &= m_1^b \wedge (\bigvee_{j=1}^{10} B_j) = B_9 \rightarrow D_2; \\ P^m(m_2^b) &= m_2^b \wedge (\bigvee_{j=1}^{10} B_j) = B_1 \vee B_2 \rightarrow L_1 \vee L_2; \\ Q(m_1^b, D_2) &= 1; \\ Q[m_2^b, (L_1 \vee L_2)] &= \frac{1}{3} \left(\frac{4}{13} + \frac{1}{4} + 1 \right) = 0,52. \end{aligned} \quad (3)$$

В первом случае диагноз определен в виде одного дефектного блока D_2 , присутствующего в транзакционном графе, качество решения равно 1. Во втором случае процедура диагностирования выявила наличие двух дефектных модулей $L_1 \vee L_2$, которые не смогли сформировать идеальную оценку качества. Тем не менее, решение является лучшим среди всех возможных, которое максимально приближено к вектору экспериментальной проверки по критерию принадлежности $Q[m_2^b, (L_1 \vee L_2)]$.

Вычислительная сложность метода анализа столбцов определяется следующей зависимостью:

$$Z^c = 3n^2 + n^2 = 4n^2; \quad Z^r = 3n + n = 4n.$$

Здесь первая оценка учитывает выполнение координатных операций над матрицей, размерностью $n \times n$. Вторая оценка определяет вычислительную сложность регистровых параллельных операций для подсчета критериев качества и обработки матрицы соответственно.

3. Логический метод анализа строк таблицы неисправностей

Стратегия определения ошибок программного кода по таблице неисправностей связана с анализом ее строк, состоящим из двух процедур: 1) Вычисление логического произведения конъюнкции строк, отмеченных единичными значениями вектора $A_i(m_i^b = 1)$, на отрицание дизъюнкции нулевых строк $A_i(m_i^b = 0)$ для одиночных дефектных блоков. 2) Вычисление логического произведения дизъюнкции единичных строк на отрицание дизъюнкции нулевых строк для кратных дефектных блоков:

$$\begin{aligned} P^S &= \left(\bigwedge_{\forall m_i^b=1} A_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{\forall m_i^b=0} A_i} \right); \\ P^m &= \left(\bigvee_{\forall m_i^b=1} A_i \right) \wedge \left(\overline{\bigvee_{\forall m_i^b=0} A_i} \right); \end{aligned} \quad (4)$$

Формулы интересны тем, что они не привязаны к критериям качества диагностирования, а оперируют лишь двумя компонентами, таблицей неисправностей и вектором экспериментальной проверки. Выполнение процедуры диагностирования по формулам (4) для вектора экспериментальной проверки $m^b = (0101010010010)$, заданного в последней таблице неисправностей, дает результат: $P^S(m_1^b, A) = D_2$, который не хуже, чем ранее полученный методом анализа столбцов. Для вектора экспериментальной проверки $m^b = (1110011100000)$ результат диагностирования имеет вид: $P^m(m_2^b, A) = L_1 \vee L_2$. Вычислительная сложность метода анализа строк определяется следующей зависимостью: $Z^c = n^2$; $Z^r = n$. Первая оценка предназначена для подсчета числа координатных операций,

вторая определяет вычислительную сложность процесса обработки на основе регистровых параллельных операций.

4. Выводы

Представлены алгебрологические векторные методы диагностирования неисправностей компонентов и систем на основе использования таблиц неисправностей. Даны рекомендации по практическому использованию алгебры векторной логики и мультипроцессорных систем для реализации диагностического эксперимента, использующего вектор экспериментальной проверки и тестовые воздействия. Методы являются инвариантными к поиску ошибок как в программных, так и в аппаратных системах.

Литература: 1. *Хаханов В.И.* Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах. Verilog & System Verilog / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: Новое слово, 2009. 484с. 2. *Хаханов В.И.* Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: Новое слово. 2010. 528с. 3. *Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунов Б.Е.* Интеллектуальное уп-

равление динамическими системами. М.: Физико-математическая литература. 2000. 352 с. 4. *Лунаев В.В.* Программная инженерия. Методологические основы. Учебник. М.: Теис, 2006. 608с. 5. *Baranov S.* Logic and System Design of Digital System. Tallin: TUT PRESS. 2002. 268с. 6. *Автоматизация* диагностирования электронных устройств / Ю.В.Малышенко и др./ Под ред. В.П.Чипулиса. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216 с.

Поступила в редколлегию 15.09.2010

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

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Тиекура Ив (Tiesoura Yves), аспирант кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем и сетей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.