

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОКРАТНЫХ ТЕСТОВ ДЛЯ ПСЕВДОИСЧЕРПЫВАЮЩЕГО ТЕСТИРОВАНИЯ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Леванцевич В. А.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Минск, Республика Беларусь

E-mail: lvn@bsuir.by

Анализируются методы тестирования современных запоминающих устройств встраиваемых систем, в том числе оперативных запоминающих устройств (ОЗУ). Обосновывается использование многократных тестов ОЗУ с изменяемыми адресными последовательностями для псевдоисчерпывающего тестирования ОЗУ. Приводятся оценки минимальной, максимальной и средней кратности многократного теста для обеспечения исчерпывающего множества комбинаций для заданного числа ячеек ОЗУ

ВВЕДЕНИЕ

Исчерпывающее тестирование (Exhaustive Testing) характеризуется максимальной эффективностью обнаружения неисправностей цифровых устройств [12]. Однако в силу большой временной сложности подобных тестов в настоящее время используются их различные аппроксимации и в первую очередь такие, как псевдоисчерпывающие тесты (Pseudoexhaustive Tests).

I. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Псевдоисчерпывающие тесты основываются на формировании множества тестовых наборов (векторов), обеспечивающих всевозможные комбинации на заданном подмножестве элементов наборов теста, и называются локально исчерпывающими [1]. Сложность таких тестов существенно меньше сложности исчерпывающих тестов. Вероятностные тесты (Random Tests) также являются эффективной аппроксимацией исчерпывающего тестирования современных встраиваемых систем [1–2]. Существенным недостатком вероятностных тестов является необходимость перебора потенциальных кандидатов в тестовые наборы, что увеличивает вычислительную сложность формирования подобных тестов. С целью уменьшения такой сложности широко обсуждаются и используются многократные вероятностные тесты для запоминающих устройств. Использование таких тестов позволяет уменьшить вычислительную сложность их построения. Представляет интерес использование псевдоисчерпывающего тестирования современных ОЗУ, основанного на многократном применении классических маршевых тестов с изменяемыми адресными последовательностями [3]. В качестве основной характеристики маршевого теста ОЗУ для k произвольных запоминающих ячеек ОЗУ используется подмножество двоичных комбинаций, названное орбитой, которое формируется одной из фаз маршевого теста.

II. РЕАЛИЗАЦИЯ

Многократное применение маршевых тестов с изменяемыми адресными последовательностями является одним из радикальных методов повышения эффективности тестирования современных ОЗУ [3]. Для этой цели используются различные меры отличия адресных последовательностей (например, расстояние Хэмминга, арифметическое расстояние, манхэттенское расстояние, корреляционные зависимости). Под адресной последовательностью понимают упорядоченную последовательность m -разрядных двоичных векторов $A(n) = a_{m-1} \cdot a_{m-2} \cdot a_{m-3} \cdots a_2 \cdot a_1 \cdot a_0$, где $a_i \in \{0, 1\}$, $i \in \{0, 1, 2, \dots, m-1\}$, принимающих всевозможные значения из множества 2^m двоичных векторов $\{000 \dots 00, 000 \dots 01, 000 \dots 10, \dots, 111 \dots 11\}$ [4]. Значения адресов $A(n)$, так же как и их индексов n , принадлежат множеству $\{0, 1, 2, \dots, 2^{m-1}\}$, т. е. $A(n)$, $n \in \{0, 1, 2, \dots, 2^{m-1}\}$ / В качестве базовой адресной последовательности чаще всего используют счетную последовательность адресов, для которой выполняется свойство $A(n)=n$, т. е. $A(0) = 0, A(1) = 1, A(2) = 2, \dots, A(2^m - 1) = 2^m - 1$

Необходимым условием обнаружения неисправностей является обеспечение тестом ОЗУ всевозможных 2^k двоичных комбинаций в любых k из N ячеек ОЗУ. Очевидно, что данное условие может быть обеспечено в рамках исчерпывающих тестов, их сложность определяется величиной 2^N , где $N = 2^m$ - емкость ОЗУ, которая является большой величиной. Поэтому на практике применяются различные подходы, позволяющие аппроксимировать исчерпывающий тестом меньшей сложности достаточно высокой обнаруживающей способностью. Рассмотрим пример формирования двоичных комбинаций для $k = 6$ из N произвольных ячеек ОЗУ. Предположим, что фиксированными $k = 6$ ячейками ОЗУ являются ячейки $b_\alpha, b_\beta, b_\lambda, b_\delta, b_\epsilon, b_\phi$, где $b_\gamma \in \{0, 1\}$ для $\gamma \in \{\alpha, \beta, \lambda, \delta, \epsilon, \phi\}$ представляет те-

кущее состояние ячеек, а их адреса $\alpha, \beta, \lambda, \delta, \epsilon, \phi$ расположены в возрастающей последовательности ($\alpha < \beta < \lambda < \delta < \epsilon < \phi$). Для текущего состояния $b_\alpha, b_\beta, b_\lambda, b_\delta, b_\epsilon, b_\phi = 000000$ в указанных ячейках при реализации первой фазы теста MATS+ (чтения нуля/запись единицы) получим состояния, которые называются орбитой: 100000, 110000, 111000, 111100, 111110, 111111. Используя эту же фазу теста с обратной адресной последовательностью для тех же ячеек ОЗУ при нулевом начальном их состоянии, получим пять новых состояний: 000001, 000011, 000111, 001111, 011111. Выбрав адресную последовательность $\alpha, \beta, \lambda, \delta, \epsilon, \phi$ для такой же фазы теста и применив те же нулевые начальные условия, получим следующее состояние запоминающих ячеек: 010000, 110000, 111000, 111100, 111110, 111111. Видно, что только одно состояние (010000) отличается от ранее полученных.

В качестве примера будем использовать процедуру тестирования ОЗУ, которая будет состоять в многократном применении простейшего маршевого теста (запись нуля/ чтение нуля/запись единицы), выполняющего инвертирование нулевого содержимого ОЗУ. Для примера рассмотрим множество на рис.1

	1		2
0	0	0	0
1	0	0	1
1	1	1	1

Рис. 1 – Множество орбит для $k=2$

Видно, что для $k = 2$ существуют только две орбиты. Исчерпывающий тест, т. е. генерирование всевозможных комбинаций (00, 01, 10, 11) из двух бит, обеспечивается двумя орбитами (1–2) в любой их последовательности. С увеличением значения k до трех получим шесть различных орбит (рис. 2).

	1		2		3		4		5		6
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 2 – Множество орбит для $k=3$

Исчерпывающий тест для $k = 3$ обеспечивается орбитами 1–4–5 и 2–3–6. Следует отметить, что число орбит три является минимальным для обеспечения исчерпывающего теста, состоящего из восьми двоичных комбинаций (000, 001, 010, ..., 111). Общее количество орбит для произвольного значения k определяется как $Q_{\text{tout}} = k!$.

Определим предельные значения количества орбит, необходимых для реализации исчерпывающего теста для произвольного значения k . Максимальная оценка Q_{max} количества орбит, необходимых для формирования исчерпывающего теста, содержит $2k$ тестовых наборов. Как было отмечено, применение одной орбиты независимо

от ее вида обеспечивает $k + 1$ двоичных векторов, каждый из которых состоит из k бит. В худшем случае каждая последующая орбита будет обеспечивать как минимум один новый двоичный вектор по отношению к множеству векторов, сгенерированных ранее использованными орбитами для случая выборки орбит без восстановления. Тогда максимальная оценка Q_{max} будет вычисляться как [4]

$$Q_{\text{max}} = 1 + (2^k - (k + 1)) = 2^k - k$$

Полученная оценка Q_{max} является нижней ее границей для случая выборки орбит с восстановлением, т. е. когда орбиты могут повторяться. Минимальное количество орбит Q_{min} для формирования исчерпывающего теста определяется числом сочетаний из k по $k/2$ [4]

Среднее значение кратности многократного теста с изменяемыми адресными последовательностями определяется [4]:

$$Q_{\text{ave}} = Q_{\text{min}} \cdot (\log_e Q_{\text{min}} + \gamma)$$

Значение $\gamma \approx 0,57722$ представляет собой константу Эйлера – Маскерони.

Для экспериментального подтверждения полученных аналитических результатов был проведен статистический анализ среднего значения Q_{ave} многократного применения теста с изменяемыми адресными последовательностями. Значения были получены на основании 10000 экспериментов, а их конкретные величины приведены в табл.1

Таблица 1 – Экспериментальные численные значения

k	2	3	4	5	6	7	8
Q_{min}	2	3	6	14	3	79	197
Q_{ave}	2.9	6.69	15.5	35.0	77.2	168.0	362.9
Q_{max}	14	32	66	122	242	499	898

III. ВЫВОДЫ

Полученные аналитические оценки псевдоисчерпывающих тестов ОЗУ с изменяемыми адресными последовательностями подтверждены экспериментальными результатами, что позволяют сделать вывод о реальности применения псевдоисчерпывающего теста для ОЗУ встраиваемых систем.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. An Orchestrated Survey on Automated Software Test Case Generation / S. Anand [et al.] // Journal of Systems and Software. – 2014. – Vol. C-39, № 4. – P. 582–586
2. Malaiya, Y.K. The coverage problem for random testing / Y.K. Malaiya, S. Yang // Proc. of ITC. – Philadelphia, 1984. – P. 237–242.
3. Ярмолик, С.В. Многократные неразрушающие маршевые тесты с изменяемыми адресными последовательностями / С.В. Ярмолик, В.Н. Ярмолик // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 4. – С. 126–137.
4. Ярмолик В.Н. Псевдоисчерпывающее тестирование ОЗУ/В.Н. Ярмолик, И. Мрозек, В.А. Леванцевич// Информатика. – 2017. – № . – С. 65–76