МЕТОД ГЕНЕРИРОВАНИЯ МНОГОКРАТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ТЕСТОВ

В.А. Леванцевич
Кафедра программного обеспечения информационных технологий
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектороники
E-mail: lvn@bsuir.by Минск, Республика Беларусь

Рассматривается метод построения многократных управляемых вероятностных тестов, который основан на использовании исходного управляемого вероятностного теста меньшей длины. Последующие тесты многократного теста строятся на основании операции отрицания определенных разрядов тестовых наборов исходного базового теста, что позволяет формировать последующие тесты без значительных вычислительных затрат.

Введение

Вероятностные тесты (Random Tests) и их многочисленные модификации, основанные на принципе черного ящика, являются эффективным средством для тестирования современных встроенных систем [1–3].

Существенным недостатком управляемых вероятностных тестов является сложность их формирования [3-5].

С целью уменьшения вычислительной сложности формирования управляемых вероятностных тестов широко используются итеративные вероятностные тесты (Iterative Random Tests), исчерпывающие и почти псевдоисчерпывающие вероятностные тесты (Combinatorial Tests), вероятностные тесты с малым числом наборов, , а также многократные тесты (Multi-runTests) для запоминающих устройств [5,6]. Основное достоинство указанных разновидностей вероятностных тестов заключается в использовании некоторой обобщающей характеристики для теста в целом, а не для тестового набора в отдельности, что позволяет значительно уменьшить вычислительную сложность построения подобных тестов.

I. Анализ предметной области

Определение 1. Однократным управляемым вероятностным тестом CRT=$\{T_0, T_1, T_2, \ldots, T_{q-1}\}$ является тест, состоящий из m-разрядных, сгенерированных случайным образом тестовых наборов $T_i = t_{i,m-1}t_{i,m-2}\ldots t_{i,2}t_{i,1}t_{i,0}$, где $t_{i,l} \in \{0,1\}$, $i \in \{0,1,2,\ldots,q-1\}$, таких, что очередной тестовый набор T_i удовлетворяет некоторым критериям, численные значения которых получаются на основании предыдущих тестовых наборов $T_0, T_1, T_2, \ldots, T_{i-1}$.

В качестве меры отличия тестового набора T_i от предыдущих наборов T_0, T_1, T_2,…, T_{i-1} чаще всего используются расстояние Хемминга и расстояние Евклида [3,6, 7]. Расстояние Хемминга $HD(T_i,T_j)$ для двоичных тестовых наборов T_i и T_j, вычисляется как вес $w(Ti \oplus Tj)$ вектора $T_i \oplus T_j$ согласно соотношению

$$HD(T_i,T_j) = w(Ti \oplus Tj) = \sum_{l=0}^{m-1}(T_{i,l} \oplus T_{j,l}). \quad (1)$$

Расстояние Евклида $ED(T_i,T_j)$ определяется в соответствии с выражением

$$ED(T_i,T_j) = \sqrt{\sum_{l=0}^{m-1}(T_{i,l} - T_{j,l})^2} =$$

$$= \sqrt{\sum_{l=0}^{m-1}(T_{i,l} \oplus T_{j,l})} = \sqrt{ED(T_i,T_j)}. \quad (2)$$

Определение 2. Многократным управляемым вероятностным тестом $MCRT_r$ является множество, состоящее из r однократных управляемых вероятностных тестов CRT_0, CRT_1, CRT_2 ,…, CRT_{r-1}, каждый из которых включает q тестовых наборов, где CRT_0 удовлетворяет определению 1, а последующие тесты CRT_j, $j \in \{1,2,3,\ldots,r-1\}$, формируются согласно некоторым алгоритмам таким образом, чтобы эти тесты удовлетворяли определенному критерию либо критериям, полученным на основании предыдущих тестов CRT_0, CRT_1, CRT_2, …, CRT_{j-1} и теста CRT_j.

По аналогии с (1) и (2) расстояние Хемминга и расстояние Евклида для двух тестов CRT_k и CRT_l определяется как

$$HD(CRT_k,CRT_l) = \sum_{i=0}^{q-1} f(T_{k,i},T_{l,i});$$

$$f(T_{k,i},T_{l,i}) = \begin{cases} 1 & \text{если } T_{k,i} \neq T_{l,i}; \\ 0 & \text{если } T_{k,i} = T_{l,i}. \end{cases} \quad (3)$$

$$ED(CRT_k,CRT_l) = \sqrt{\sum_{i=0}^{q-1}(T_{i,k} - T_{i,l})^2}. \quad (4)$$

II. Реализация

Для обеспечения минимальной вычислительной сложности при формировании многократных вероятностных тестов $MCRT_r$ в качестве основной операции применим операцию отрицания. Используя эту операцию все последующие тесты $CRT_1, CRT_2, \ldots, CRT_{r-1}$ могут быть легко сформированы на базе CRT_0 путем инвертирования определенных разрядов его тестовых наборов.

В качестве алгоритма формирования многократных тестов предложен метод, основанный на применении масок в виде двоичного вектора $\lambda_{m-1}\lambda_{m-2}\ldots\lambda_1\lambda_0 \neq 00\ldots00$, единичные значения которого определяют наличие инверсий разрядов тестовых наборов исходного базового теста CRT_k по отношению к формируемому новому тесту CRT_l [7]. Предположив, что исходный тест CRT_k состоит из тестовых наборов $T_{k,i} = t_{k,m-1}t_{k,m-2}\ldots t_{k,2}t_{k,1}t_{k,0}$, где $t_{k,j} \in \{0,1\}$ для $j \in \{0,1,2,\ldots,m-1\}$, выражение для наборов $T_{l,i} \neq T_{k,i}$ теста CRT_l будет иметь вид [7]

$$\begin{aligned} T_{l,i} &= t_{k,m-1}^{\lambda_{m-1}} t_{k,m-2}^{\lambda_{m-2}} \ldots t_{k,1}^{\lambda_1} t_{k,0}^{\lambda_0} = \\ &= (\lambda_{m-1} \oplus t_{k,m-1})(\lambda_{m-2} \oplus t_{k,m-2})\ldots \\ &\quad \ldots(\lambda_1 \oplus t_{k,1})(\lambda_0 \oplus t_{k,0}), \end{aligned} \tag{5}$$

где при $\lambda_j = 1$ отрицание над $t_{k,j}$ присутствует, а при $\lambda_j = 0$ отсутствует. При этом в качестве исходного кода $T_{k,i}$ может выступать любая m-разрядная двоичная комбинация. Отличие $T_{l,i}$ от кода $T_{k,i}$ определяется двоичным вектором $\lambda_{m-1}\lambda_{m-2}\ldots\lambda_1\lambda_0$.

Очевидно, что требованием, которому должны соответствовать CRT_k и CRT_l, является отсутствие у них совпадающих компонентов $T_{k,i}$ и $T_{l,i}$, что эквивалентно выполнению неравенства $T_{l,i} \neq T_{k,i}$, $i \in \{0,1,2,...,q-1\}$, и обеспечивает равенство $HD(CRT_k, CRT_l) = q$. В рамках предложенного алгоритма (5) выполнение неравенства $T_{l,i} \neq T_{k,i}$ достигается неравенством $\lambda_{m-1}\lambda_{m-2}\ldots\lambda_1\lambda_0 \neq 00\ldots00$. Это условие позволяет получить максимальное расстояние Хемминга $HD(CRT_k, CRT_l)$, которое в этом случае равняется q.

Основой для вычисления характеристик различия, является соотношение пар тестовых наборов $T_{k,i}$ и $T_{l,i}$, $i \in \{0,1,2,...,q-1\}$, для двух управляемых вероятностных тестов: исходного CRT_k и формируемого CRT_l. Чем более различными (несовпадающими) являются коды наборов $T_{k,i}$ и $T_{l,i}$, тем, очевидно, более эффективным будет использование тестов CRT_k и CRT_l при реализации многократного теста $MCRT_r$, состоящего из r однократных тестов.

Для произвольной пары тестовых наборов $T_{k,i}$ и $T_{l,i}$ значение $T_{k,i} - T_{l,i}$, для $T_{k,i} = t_{k,m-1}t_{k,m-2}\ldots t_{k,1}t_{k,0}$, где $t_{k,j} \in \{0,1\}$, при $j \in \{0,1,2,\ldots,m-1\}$ и $T_{l,i} = t_{k,m-1}^{\lambda_{m-1}} t_{k,m-2}^{\lambda_{m-2}} \ldots t_{k,1}^{\lambda_1} t_{k,0}^{\lambda_0}$ $= (\lambda_{m-1} \oplus t_{k,m-1})(\lambda_{m-2} \oplus t_{k,m-2})\ldots(\lambda_1 \oplus t_{k,1})(\lambda_0 \oplus t_{k,0})$, где g значений $\lambda_\alpha, \lambda_\beta, \ldots, \lambda_\chi, \lambda_\delta$ $(\alpha > \beta > \ldots > \chi > \delta)$ вектора масок $\lambda_{m-1}\lambda_{m-2}\ldots\lambda_1\lambda_0$ равняются 1, а остальные m-g значения λ_k для $k \neq \alpha \neq \beta \neq \chi \neq \ldots \neq \delta$, где $k, \alpha, \beta, \chi, \ldots, \delta \in \{0,1,2,\ldots,m-1\}$ равняются 0, вычисляется по формуле [6]

$$T_{k,i} - T_{l,i} = \sum_{c \in \{\alpha, \beta, \ldots, \chi, \delta\}} (t_{k,c} - |t_{k,c} - 1|)2^c. \tag{6}$$

Используя выражение (6) расстояние Евклида $ED(CRT_k, CRT_l)$ для тестов CRT_k и CRT_l, где $CRT_k = \{T_{k,0}, T_{k,1}, T_{k,2}, \ldots, T_{k,q-1}\}$ и включает $q = 2^m$ m-разрядных, неповторяющихся, сгенерированных случайным образом тестовых наборов $T_{k,i}$, а тестовые наборы $T_{l,i}$ получены согласно (7) на основании вектора отрицаний $\lambda_{m-1}\lambda_{m-2}\ldots\lambda_1\lambda_0$, для которого g значений $\lambda_\alpha, \lambda_\beta, \ldots, \lambda_\chi, \lambda_\delta$ $(\alpha > \beta > \ldots > \chi > \delta)$ равняются 1, вычисляется согласно выражению [6]

$$\begin{gathered} ED(CRT_k, CRT_l) = \sqrt{2^{m-g}} \times \\ \times \sqrt{\sum_{t_{k,\alpha}\ldots t_{k,\delta}=0\ldots00}^{1\ldots11} [(t_{k,\alpha} - \bar{t}_{k,\alpha})2^\alpha + \ldots + (t_{k,\delta} - \bar{t}_{k,\delta})2^\delta]^2}. \end{gathered} \tag{7}$$

ВЫВОДЫ

В работе приведены численные характеристики, используемые для формирования тестовых наборов. управляемых вероятностных тестов. Показаны основные недостатки классических управляемых вероятностных Приведен метод формирования многократных управляемых вероятностных тестов основанный на применении масок в виде двоичного вектора Показано, что, используя исходный тест, можно без существенных вычислительных затрат сформировать его модификации как последующие тесты многократного теста.

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. Ярмолик, С. В. Управляемые вероятностные тесты / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 10. – С. 142–155.
3. Antirandom Testing: A Distance-Based Approach / S. H. Wu [et al.] // VLSI Design. – 2008. – № 2. – P. 1–9.
4. Ярмолик, С. В. Управляемое случайное тестирование / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Информатика. – 2011. – № 1(29). – С. 79–88.
5. Ярмолик, С. В. Обнаружение кодочувствительных неисправностей запоминающих устройств с многократным использованием маршевых тестов / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Информатика. – 2006. – № 1(9). – С. 104–129.
6. 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.
7. Ярмолик, С. В. Маршевые тесты для самотестирования ОЗУ / С. В. Ярмолик, А. П. Занкович, А. А. Иванюк. – Минск : Издательский центр БГУ, 2009. – 270 с.