

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЯЕМЫХ ТЕСТОВ ПАМЯТИ С ЗАДАННЫМ РАССТОЯНИЕМ ХЭММИНГА

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

В работе описывается эксперимент дающий оценку эффективности управляемого вероятностного теста, состоящего из четырех наборов с заданным расстоянием Хэмминга, в сравнении с другими наборами выбранными случайно для обнаружения неисправностей взаимного влияния ОЗУ

ВВЕДЕНИЕ

Тестирование вычислительных систем остается основным способом проверки качества программных и аппаратных средств вычислительных систем и их приложений. Однако тестирование остается трудоемким, медленным и несовершенным процессом.

Вероятностное тестирование (Random Testing) тестирование простое, легко реализуется [1]. Но существенным недостатком данного вида тестирования является невысокая эффективность. В настоящее время развиваются методы построения тестов, где случайный фактор не играет преобладающую роль. Примером такого вида тестирования является адаптивное вероятностное тестирование (Adaptive Random Testing) или управляемое вероятностное тестирование (Controlled Random Testing) [2,3].

Данный вид тестирования и его многочисленные модификации, основаны на вычислении некоторых характеристик для управляемого формирования очередного случайного тестового набора. Большинство известных подходов генерирования адаптивных вероятностных тестов основано на применении расстояния Хэмминга в качестве характеристики определяющей выбор очередного набора.

Управляемые вероятностные тесты находят широкое применение при тестировании вычислительных систем и их составных компонент [1,2]. Во всех случаях эффективность управляемых вероятностных тестов сравнивается с эффективностью вероятностных тестов состоящих из такого же количества тестовых наборов.

В случае запоминающих устройств применение вероятностных тестов, состоящих из p наборов, конкретного вида неисправности $Fault$, позволяет достичь полноты покрытия $FC_{Test}(Fault, p)$ их сложных неисправностей оцениваемой выражением.

$$FC_{Test}(Fault, p) = \left(1 - \left(1 - \frac{FC_{Test}(Fault)}{100\%}\right)^p\right)$$

Значение $FC_{Test}(Fault)$ показывает процентное отношение количества обнаруженных конкретных неисправностей при использовании од-

ного вероятностного набора и заданной неразрушающей маршевой процедуры тестирования. В случае запоминающих устройств, случайный тестовый набор используется в качестве начального состояния его ячеек, а под сложными их неисправностями понимаются неисправности взаимного влияния [1].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОЦЕНКА

С целью оценки эффективности управляемых вероятностных тестов был реализован следующий эксперимент. Было спроектировано программное средство, в котором смоделировано оперативное запоминающее устройство с общим количеством ячеек памяти равным $n=32$.

Для реализации процедуры тестирования $Test$ применялся классический неразрушающий маршевый тест Николаидиса под названием ТМАТС [1]. Данный тест состоит из двух фаз. Начальная фаза, предназначенная для вычисления эталонных значений сигнатуры SF имеет вид: $\{\uparrow(ra); \uparrow(r\bar{a})\}$. На данной выполняется чтение значений ячеек памяти в порядке возрастания адресов. После этого выполняется чтение инверсных значений ячеек памяти, также в порядке возрастания адресов. Вторая фаза, представляющая собой базовый тест, представляется в виде: $\{\uparrow(ra, u\bar{a}); \uparrow(r\bar{a})\}$ и предназначена для вычисления реальной сигнатуры при наличии неисправности в запоминающем устройстве. Для получения эталонной сигнатуры SF , соответствующей содержанию ОЗУ без внесенных неисправностей, перед выполнением базового теста запускается начальная фаза теста. Для обнаружения неисправностей результаты всех операций чтения второй фазы теста сжимаются с помощью сигнатурного анализатора в реальную сигнатуру SR . Далее сигнатуры сравниваются, и их неравенство $SF \neq SR$ устанавливает обнаружение внесенной в ОЗУ неисправности. В противном случае, когда $SF = SR$ фиксируется факт необнаружения неисправности или об ее отсутствии.

Для анализа использовался регистр сдвига с линейной обратной связью. Сигнатурный анализатор описывался примитивным порождающим полиномом $\varphi(x) = 1 + x^3 + x^{12} + x^{16}$.

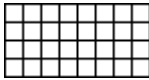
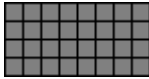
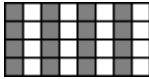

Проводимый эксперимент состоял в многократном применении вероятностного теста состоящего из четырех наборов начальных состояний ОЗУ, сгенерированных случайным образом (комплект 1). Состояние каждой ячейки ОЗУ 0 либо 1 формировалось равновероятно и независимо от состояния других ячеек памяти. Подобный тест многократно повторялся, и для каждой его итерации оценивалось обнаружение, либо необнаружение смоделированной неисправности ОЗУ. В качестве вносимых сложных неисправностей ОЗУ на каждой итерации эксперимента случайным образом выбиралась одна из восьми неисправностей взаимного влияния прямого действия (*idempotent coupling faults (CFid)*): $\wedge\langle\uparrow, 0\rangle$, $\wedge\langle\uparrow, 1\rangle$, $\wedge\langle\downarrow, 0\rangle$, $\wedge\langle\downarrow, 1\rangle$, $\vee\langle\uparrow, 0\rangle$, $\vee\langle\uparrow, 1\rangle$, $\vee\langle\downarrow, 0\rangle$, $\vee\langle\downarrow, 1\rangle$ и определялись адреса ячейки агрессора и ячейки жертвы [1].

Далее выполнялся запуск процедуры тестирования Test (TMATS). Первоначально выполняется тестирование на первом случайном состоянии ячеек ОЗУ, т.е. первом тестовом наборе из комплекта 1 вероятностного теста. В случае несовпадения сигнатур, реальной и эталонной фиксируется факт обнаружения неисправности и выполняется переход к следующей итерации вероятностного теста. При совпадении сигнатур, выполняется переход к тестированию на втором тестовом наборе комплекта 1 вероятностного теста текущей итерации. В случае совпадения сигнатур для второго набора выполнялось тестирование на третьем наборе комплекта 1. Таким образом, устанавливался факт обнаружения либо необнаружения внесенной неисправности взаимного влияния для каждой итерации вероятностного теста. По окончании всех заданных итераций вероятностного теста вычислялась процентная полнота покрытия $FC_{Test}(Fault, 4)$ неисправностей взаимного влияния.

Аналогичным образом последовательно выполнялось тестирование и на фиксированных начальных состояниях соответствующих управляемым вероятностным тестам с заданным расстоянием Хэмминга. Применялись тесты, состоящие из четырех тестовых наборов (комплект 2) обеспечивающих расстояние Хэмминга больше либо равно 16. Пример этого вероятностного теста T графически представлен в табл. 1 для ОЗУ состоящего из матрицы запоминаящих ячеек, обеспечивающего заданное расстояние Хэмминга. Светлый тон ячеек означает, что в ней хранится значение ноль, если тон темный, хранимое значение единица.

Результаты экспериментов для количества итераций $n=100$, $n=1000$, $n=10000$ для вероятностных тестов комплекта 1 и управляемых вероятностных тестов комплекта 2 приведены на рис. 1.

Таблица 1 – Управляемый вероятностный тест для ОЗУ, состоящий из четырех наборов (комплект 2)

T	ОЗУ RAM
T1	
T2	
T3	
T4	

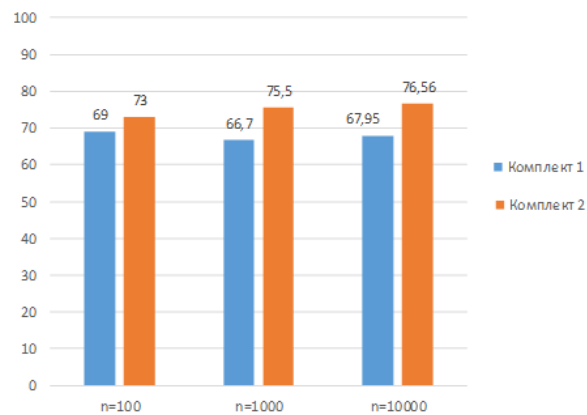


Рис. 1 – Полнота покрытия неисправностей ОЗУ

На приведенном рисунке показаны экспериментальные данные о полноте покрытия $FC_{Test}(Fault, 4)$ для случая неисправностей взаимного влияния ОЗУ. Как видно и приведенных значений, в случае управляемых вероятностных тестов полнота покрытия заметно выше полноты покрытия таких же неисправностей вероятностным тестом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере показана эффективность управляемых вероятностных тестов с заданным расстоянием Хэмминга по сравнению с вероятностным тестом. Наиболее заслуживающим внимания представляется применение данных управляемых вероятностных тестов для тестирования программного обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярмолик В. Н. Контроль и диагностика вычислительных систем / В. Н. Ярмолик. // Минск : Бест-принт, –2019.
2. Huang, R. A Survey on Adaptive Random Testing / R. Huang, W. Sun, Y. Xu, H. Chen, D. Towey, X. Xia. // IEEE Transactions on Software Engineering –IEEE Press, 2021. –vol. 47, no. 10. – P. 2052–2083.
3. Ярмолик С. В. Управляемое случайное тестирование / С. В. Ярмолик, В. Н. Ярмолик // Информатика. –Минск, 2011. – № 1 (29). – С. 79–88.