УДК 681.32:004.681.3

Е.В. Одияненко, И.В. Пискун, В.А. Хорошко

Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, Киев

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕСТОВОЙ ДИАГНОСТИКИ В ЗАЩИЩЕННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Предлагается метод оценки эффективности использования тестовых процедур, основанный на построении графа ошибок, позволяющего определить класс локализуемых дефектов и реализовать формальную процедуру обработки результатов тестирования.

Ключевые слова: *тестовая последовательность, тест поиска дефектов, граф ошибок.*

Введение

Одним из основных способов повышения надежности работы и живу чести средств информационного обмела в защищенных сетях святи является организация процедур тестовой диагностики оборудования сетей информационного обмела (СИО) перед их применением по своему функциональному назначению или при устранении дефектных компонентов в процессе восстановительных работ в режиме эксплуатации. Однако применяющиеся для этой цели последовательности (ТП) не в полной мере соответствуют требованиям оперативности и точности локализации дефектов, что существенно снижает эффективность их использования, поскольку они ориентированы только на обнаружение ошибок малой кратности, возникающих в применяемых ТП под. влиянием дефектов оборудования СИО. Поэтому указанные ТП используются, как правило, в качестве проверяющих, а не как тесты поиска дефектов (ТПД). Кроме того, анализ результатов выполнения тестовой процедуры отличается значительной трудоемкостью, из-за отсутствия единой формальной методики позволяющей определять диагностические свойства применяющихся ТП [1].

Анализ исследований. Таким образом. задача построения ТПД актуальна, которые при сравнительно простом генерировании ТП и незначительной трудоемкости обработки результатов тестирования, позволяют обнаружить и локализовать дефекты большой кратности в оборудовании СИО. Этим условием в значительной мере удовлетворяет ТПД, тестовые воздействия $d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}$, которые имеют следующий вид [2]:

$D = \left\{d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}\right\}; d^{00} = \left\{d_i^{00}\right\}; d_i^{00} = 0; i = \overline{1,n}$ n - число разрядов СИО;

$$d^{01} = \left\{d_i^{01}\right\}; d_i^{01} = \begin{cases} 0, \text{если } i = 2k+1; k \in N, N = 0,1,2,...; \\ 1, \text{если } i = 2k; \end{cases}$$

$$d^{10} = \left\{d_i^{10}\right\}; d_i^{01} = \begin{cases} 0, \text{если } i = 2k; \\ 1, \text{если } i = 2k+1; \end{cases}$$

$d^{11} = \left\{d_i^{11}\right\}; d_i^{11} = 1$ и ориентирована на идентификацию независимых дефектов СИО с передачей информации параллельным кодом.

Однако и для ТП такого вида не решена проблема оценки эффективности реализации для СИО с произвольной разрядностью.

Целью настоящей работы – исследование и разработка метода формальной оценки эффективности реализации предложенной ТП для определенного выбранного типа СИО.

Основная часть

Введем в рассмотрение граф $G = (AB)$, где $A = \{a, \rho, \varepsilon\}$ – множество вершин; $\rho = 0, \omega$; $\omega \in N; \varepsilon = 0, \sum_{i=0}^{\rho} 2^i; \beta$ – множество дуг. Множество вершин A представим в виде $A = \bigcup_{\rho=0}^{\omega} A^{\rho}$, где

$$A^0 = \left\{a_0 i_0 | a_0 i_0 \in A, \Gamma^{-1}(a_0, i_0) = \varnothing\right\}, i_0 = 0;$$

$$A^1 = \left\{a_1 i_1 | a_1 i_1 \in A - A^0, \Gamma^{-1}(a_1, i_1) \subset A^0\right\}, i_0 = \overline{0,1};$$

$$A^2 = \left\{a_2 i_2 | a_2 i_2 \in A - (A^0 \cup A^1), \Gamma^{-1}(a_2, i_2) \subset A^1\right\}, i_2 = \overline{0,3};$$

...

$$A^{\omega} = \left\{\begin{matrix} a_{\omega} i_{\omega} \in A - \\ -\bigcup_{\rho=0}^{\omega} A^{\rho}, \Gamma^{-1}(a_{\omega}, i_{\omega}) \subset A^{\omega-1}, \Gamma(a_0, i_0) = \varnothing \end{matrix}\right\},$$

$$i_{\omega} = \overline{0, 2^{\omega} - 1}.$$

таким образом, $(\forall a_{\rho}, \varepsilon \in A^{\rho}) \left|\Gamma(a_{\rho}, \varepsilon)\right| = 0 \vee 2.$ [3] Подмножества A^{ρ} образуют разбиение множества A и упорядочены так, что если вершина принадлежит подмножеству с номером ρ, то следующая за ней вершина принадлежит подмножеству с номером большим ρ. Подмножества A^{ρ} такого разбиения соответствует рангу ρ графа G.

Присвоим вершинам $a_{\rho}, \varepsilon \in A^{\rho}$ графа G веса $h_{\rho,\varepsilon} = \left[h'_{\rho,\varepsilon}, h''_{\rho,\varepsilon}\right] \in H$, где $\left[h'_{\rho,\varepsilon}, h''_{\rho,\varepsilon}\right]$ – двух элементный кортеж прямого произведения множеств

$$H' = \left\{h'_{0,0}, h'_{1,0}, h_{1,1}, ..., h'_{\omega,2^{\omega}-1}\right\}$$

и $H'' = \left\{h''_{0,0}, h''_{1,0}, h''_{1,1}, ..., h''_{\omega,2^{\omega}-1}\right\}, H = H' \bullet H'' =$

$$= \left\{\left[h'_{\rho,\varepsilon}, h''_{\rho,\varepsilon}\right] \middle| h'_{\rho,\varepsilon} \in H', h''_{\rho,\varepsilon} \in H''\right\}.$$

Таким образом, каждая вершина графа G

$a_{0,0} \to h_{0,0} = \left[h'_{0,0} \bullet h''_{0,0}\right]$;

$a_{1,0} \to h_{1,0} = \left[h'_{1,0} = h'_{0,0} + 1; h''_{1,0} = h''_{0,0} - 1\right]$;

$a_{1,1} \to h_{1,1} = \left[h'_{1,1} = h'_{0,0} - 1; h''_{1,1} = h''_{0,0} + 1\right]$;

...

$$a_{\omega,2^{\omega}-1} \to h_{\omega,2^{\omega}-1} = \\ = \begin{bmatrix} h'_{\omega,2^{\omega}-1} = h'_{\omega,2^{\omega}-1} + (-1)^{\omega}; \\ h''_{\omega,2^{\omega}-1} = h''_{\omega,2^{\omega-1}-1} + (-1)^{(\omega+1)} \end{bmatrix},$$

где

$$\begin{cases} h'_{0,0} = h''_{0,0} = \dfrac{n}{2}, \text{ если } 1; \\ h'_{0,0} = \dfrac{n+1}{2}, h''_{0,0} = \dfrac{n-1}{2}, \text{ если } 2, \end{cases}$$

$$1.\ n \in N_0, N_0 = 2k, k = N;$$
$$2.\ n \in N_1, N_1 = 2k + 1;$$

n – количество разрядов СИО.

Определение 1. Вершины графа G будут иметь равные веса, если

$$\forall a_{\rho,\varepsilon} \forall a_{\alpha,\beta} \in A\left\{\rho{=}\alpha, h'_{\rho,\varepsilon}{=}h'_{\alpha,\beta}, h''_{\rho,\varepsilon}{=}h''_{\alpha,\beta} {\Rightarrow} h_{\rho,\varepsilon}{=}h_{\alpha,\beta}\right\}.$$

Рассмотрим множество вершин $A^{\rho} = \left\{a_{\rho,1}, a_{\rho,2}, ..., a_{\rho,2^{\rho}-1}\right\}$, принадлежащих рангу ρ, и множество весов $H^{\rho} = \left\{h_{\rho,1}, h_{\rho,2}, ..., h_{\rho,2^{\rho}-1}\right\}$, соответствующих этим вершинам. Определим подмножества

$h^{\rho}_{\alpha} \subset H^{\rho}; \alpha = \overline{1, \rho+1}; h^{\rho}_{\alpha} = \left\{h_{\rho,\alpha_1}, h_{\rho,\alpha_2}, ..., h_{\rho,q}\right\}$, причем $\forall a_i \forall d_j \left\{h_{\rho,\alpha_i}, h_{\rho,\alpha_j} \in h^{\rho}_{\alpha} \Rightarrow h_{\rho,\alpha_i} = h_{\rho,\alpha_j}\right\}$, т.е. множество H^{ρ} разбивается на непересекающиеся подмножества h^{ρ}_{α}, элементы которого связаны отношением эквивалентности и взаимозаменяемы в том смысле, что любой из этих элементов определяет данный класс, т.е. может служить его представителем.

Подмножество $\overline{H^{\rho}} \subset H^{\rho}, \overline{H^{\rho}} = \left\{\overline{h}^{\rho}_1, \overline{h}^{\rho}_2, ..., \overline{h}^{\rho}_{\rho+1}\right\}$, причем $\forall h_{\rho,\alpha_i} \in h^{\rho}_{\alpha} \exists! \overline{h}^{\rho}_{\alpha} \in \overline{H}^{\rho} \left\{\alpha = \alpha_i \Rightarrow h_{\rho,\alpha_i} = \overline{h}^{\rho}_{\alpha}\right\}$, образует систему представителей. Используя отображение $H: A^{\rho} \to \overline{H}^{\rho}$, разобьём множество A^{ρ} на непересекающиеся подмножества A^{ρ}_{α},

$$\forall a_{\rho,\alpha_i} \in A^{\rho}_{\alpha} \left\{(a_{\rho,\alpha_i} \to h_{\rho,\alpha_i}) \Rightarrow ! \overline{h}^{\rho}_{\alpha} \in \overline{H}^{\rho} h_{\rho,\alpha_i} = \overline{h}^{\rho}_{\alpha}\right\},$$

$1 \le i \le \nu$.

Определим подмножество

$$\overline{A}^{\rho} \subset A^{\rho}, \overline{A}^{\rho} = \left\{\overline{a}_{\rho,1}, \overline{a}_{\rho,2}, ..., \overline{a}_{\rho,\rho+1}\right\},$$

причем

$$\forall^i \forall_j \left\{\overline{a}_{\rho,i} \in 1 \le i, j \le \rho+1 \in \overline{A}^{\rho} \,\&\, \overline{a}_{\rho,j} \in \overline{A}^{\rho} i \ne j \Rightarrow \overline{h}^{\rho}_i \ne \overline{h}^{\rho}_j\right\},$$

т.е. каждой вершине $\overline{a}_{\rho,\alpha} \in \overline{A}^{\rho}$ будет соответствовать вес, отличный от весов других вершин. Рассмотрим множество дуг b, и пусть все дуги, положительно (отрицательно) инцидентные вершинам $\overline{a}_{\rho,\alpha_i} \in \overline{A}^{\rho}_{\alpha}$ будут соответствовать положительно (отрицательно) инцидентны $\overline{a}_{\rho,\alpha} \in \overline{A}^{\rho}$. В результате такого преобразования графа $G = (A, B)$ получим новый граф $\overline{G} = (\overline{A}, \overline{B})$. Определим вершины $\overline{a}_{\rho,\alpha}$ графа G, компоненты $\overline{h}'_{\rho,\alpha}$ или $\overline{h}''_{\rho,\alpha}$ весов $\overline{h}^{\rho}_{\alpha}$ которых больше или равны величине ранга ρ и обозначим их $\overline{a}_{\rho,\alpha}$. Присвоим дугам графа $\overline{G}$ веса в соответствии со следующим правилом. Пусть имеется дуга $\overline{b}_{\rho,\varepsilon,\rho+1,\varepsilon+1}$ вес $\mu^{(+)}$, в противном случае - $\mu^{(-)}$.

Определение 2. Графом ошибок будем называть подграф $\overline{G}_0 = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ взвешенного графа $\overline{G} = (\overline{A}, \overline{B})$ у которого начальной является вершина $\hat{a}_{0,0}$, а конечной $\hat{a}_{\rho,\alpha}$.

Граф ошибок $\overline{G} = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ позволяет определить класс локализуемых ошибок (при возникновении которых устанавливается место неисправности СИО, вызывающей эти ошибки, с точностью до одного разряда) и эффективность тестовой диагностики $P^{\rho}_n = \dfrac{W^{\rho}_{\Delta}}{W^{\rho}_{общ}}$, где n – количество разрядов СИО; ρ – кратность ошибки; W^{ρ}_{Δ} – количество локализуемых ошибок кратности ρ; $W^{\rho}_{общ}$ – общее число возможных ошибок кратности $\rho_{гр}$ в тестовом наборе, при использовании ТП $D = \left\{d^{00}, d^{01}, d^{10}, d^{11}\right\}$.

Следовательно, для оценки эффективности необходимо вычислить W^{ρ}_{Δ} и $W^{\rho}_{общ}$. Для решения этой задачи справедливы следующие утверждения. *

Утверждение 1. Если в ранге ρ графа ошибок $\overline{G}_0 = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ не содержатся конечные вершины $\hat{a}_{\rho,\alpha}$, то все ошибки кратности ρ будут локализованы.

* Доказательство утверждений в силу громоздкости в статье на приводится.

Утверждение 2. Если в ранге ρ графа ошибок $\overline{G}_0 = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ содержится только конечные вершины $\hat{a}_{\rho,\alpha}$, то ошибки кратности ρ не локализуются.

На основании утверждения 2 $W^{\rho}_{\Delta} = 0$, следовательно P^{ρ}_{n}=0.

Утверждение 3. Если в ранге ρ графа ошибок $\overline{G}_0 = (\overline{A}_0, \overline{B}_0)$ содержатся как конечные вершины $\hat{a}_{\rho,\alpha}$, так и неконечные вершины $\overline{a}_{\rho,\varepsilon}$, то только часть ошибок кратности ρ будет локализирована.

Определим величины W^{ρ}_{Δ} и $W^{\rho}_{общ}$. Общее число возможных ошибок кратности ρ $W^{\rho}_{общ} = C^{\rho}_{n}$, т.е. числу сочетаний без повторений из n по ρ. Пусть в ранге ρ графа ошибок $\overline{G}_0$ содержатся конечные вершины $\hat{a}_{\rho,\alpha}$, $i = \overline{1,\nu}$. Найдем вес $b_{\alpha_i}(\mu)$ пути α_i от начальной вершины $\overline{a}_{0,0}$ до конечной вершины $\hat{a}_{\rho,\alpha}$, равный сумме весов $\mu^{(+)}$ и $\mu^{(-)}$ всех дуг b_{α_i}, входящих в путь α_i:

$$b_{\alpha_i}(\mu) = \sum_{b_{\alpha_i} \in \alpha_i} \mu^{(+)} + \sum_{b_{\alpha_i} \in \alpha_i} \mu^{(-)} = q_1\left[\mu^{(+)}\right] + q_2\left[\mu^{(-)}\right].$$

Число $q_1(q_2)$ будет соответствовать кратности ошибки в четных (нечетных) разрядах, которые не локализируются, причем $q_1 + q_2 = \rho$. Количество ошибок кратности ρ $W^{\rho}_{\alpha_i} = C^{q_1}_{n_1} C^{q_2}_{n_2}$, где n_1 – число четных разрядов СИО; n_2 – число нечетных разрядов СИО. Общее количество нелокализуемых ошибок кратности ρ равно $W^{\rho}_{нл} = \sum_{i=1}^{\nu} W^{\rho}_{\alpha_i}$, тогда $W^{\rho}_{\Delta} = W^{\rho}_{общ} - W^{\rho}_{нл}$.

Следовательно,

$$P^{\rho}_{n} = \frac{W^{\rho}_{общ} - \sum_{i=1}^{\nu} W^{\rho}_{\alpha_i}}{W^{\rho}_{общ}}.$$

Выводы

Данный метод был использован для определения класса локализуемых ошибок и оценки эффективности тестовой диагностики при синтезе тестов для шестнадцати и тридцати двух разрядных защищенных сетей информационного обмена между абонентами, что позволило значительно сократить время разработки тестов поиска дефектов и устранения их.

Список литературы

1. *Браиловский Н.Н. Оценка качества функционирования систем защиты информации / Н.Н. Браиловский, В.С. Орленко, В.А. Хорошко // Сучасний захист інформації. – 2010. – № 4. – С. 9-15.*
2. *Петров А.А. Безопасность информационных и коммуникационных систем / А.А. Петров, В.А. Хорошко. – Луганск: Изд. ВНУ им. В. Даля, 2008. – 128 с.*
3. *Оре О. Теория графов / О. Оре – М.: Наука, 1980. – 336 с.*

Поступила в редколлегию 14.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Лужецький, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕСТОВОЇ ДІАГНОСТИКИ У ЗАХИЩЕНИХ МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ

О.В. Одіяненко, І.В. Піскун, В.О. Хорошко

Пропонується метод оцінки ефективності використання тестових процедур, заснований на побудові графа помилок, що дозволяє визначити клас дефектів, що локалізуються і реалізувати формальну процедуру обробки результатів тестування.

Ключові слова: *тестова послідовність, тест пошуку дефектів, граф помилок.*

EVALUATION OF DIAGNOSTIC TEST IN PROTECTED COMMUNICATION NETWORKS

O.V. Odiyanenko, I.V. Piskun, V.O. Khoroshko

Propose a method for assessing effectiveness of testing procedures based on constructing a graph of errors, allowing to determine the class of localized defects and implement a formal procedure for processing test results.

Keywords: *test sequence, test defect detection, graph errors.*