

ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ**А. Н. Мартынюк¹, Буи Ван Тхионг¹, Д. А. Мартынюк², А. С. Степовая¹**¹*Одесский национальный политехнический университет*²*Частное предприятие Nippon Auto, г. Одесса*

Аннотация Представлена поведенческая модель тестирования компонентов сетевых систем, расширенная проверкой их энергопотребления в ходе рабочего и тестового контроля. Модель основана на представлении компонентов расширенными сетями Петри, обладает особенностями накопительного критерия обобщенных энергозатратных вход-выходных переключений сетей Петри и идентификации поведения в процессе проверки. Модель позволяет определить условия процедур поведенческого контроля с анализом и проверкой энергопотребления

Ключевые слова: сетевая система, поведенческое тестирование, расширенная сеть Петри, компонентные энергозатраты, идентификатор, тестовый примитив.

Введение

Для современных компьютерных систем, в частности, для сетевых систем (СС) с высокой степенью автономности и мобильности, энергосбережение становится важнейшим показателем их эффективности. В соответствии с этим в контроле и диагностировании компьютерных систем важной составляющей становится проверка корректности показателей энергозатрат в процессе функционирования, отклонения от которых могут означать проблемы в обеспечении работоспособности.

Как показывает анализ энергосбережения для различных технологий компьютерных систем наибольшее влияние на энергозатраты разнообразных аппаратных средств оказывают электрические переключения, непосредственно отображаемые на уровне принципиальных электрических и логических схем.

Вместе с тем, между количеством переключений на вентиляльном уровне средств компьютерных систем и условными энергозатратами, которые могут быть отнесены к структурным и поведенческим представлениям объектов и процессов СС [1], может быть установлена обобщенная полиномиальная зависимость. Обоснование этому дает непосредственная связь поразрядной арифметики и микропрограммных инструкций с их реализацией в операторах языков программирования и соответственно с их отображением в вершинах схем алгоритмов и переходах автоматных моделей.

Это обстоятельство позволяет на системном уровне контроля работоспособности реальных объектов и процессов проверять и сравнивать их

энергопотребление с обобщенным эталонным, в частности, при использовании прямых методов оперативного или инерционного температурного, или инфракрасного наблюдения.

Вместе с тем, в существующих работах данные вопросы исследованы не в полной мере, не на достаточно общем системно-функциональном уровне, в частности, с привязкой к конкретным технологиям реализации [2, 3].

В соответствии с этим можно считать актуальными исследования моделей и процедур поведенческого тестирования СС, расширенных проверкой их энергозатрат.

1. Цель, постановка задачи

Целью настоящей работы является достижение большей полноты в поведенческом тестировании СС, выполняемом на основе построения контрольных экспериментов для сетей Петри [4], расширенных с обобщенным анализом энергозатрат.

Для достижения цели в работе решается задача построения модели тестирования с проверкой энергозатрат, которая основана на сетях Петри со специальными метками и может быть использована для определения условий синтеза тестов СС, выполняющих функциональную проверку в сравнении с эталоном, расширенную анализом энергозатрат.

2. Определение условий проверки энергозатрат и входной модели

При решении задачи получила развитие поведенческая модель тестирования компонентов СС с проверкой энергопотребления, основанная на представлении компонентов расширенными числовыми сетями Петри, отличающимися метками-регистраторами, которые обеспечивают

динамическую транспортировку и подсчет накопления показателей энергозатрат в процессе своего перемещения между позициями и переходами.

Модель тестирования также обладает особенностями определения и использования тестовых примитивов, определенных как вектора комплектов смежных позиций-переходов с идентификацией соответствующих условий-событий и экспертно-статистическими метриками и функциями энергозатрат.

Особенность сетей Петри состоит в возможности представления ими асинхронно-событийных параллельных процессов СС, что обуславливает необходимость регистрации энергозатрат в также параллельных потоках меток. То есть, необходим механизм, обеспечивающий определение, распределение-объединение и сохранение энергозатрат в расходящихся и сходящихся параллельных фрагментах путей, в частности, линейных, при перемещении потоков меток между позициями и переходами в ходе моделирования.

Специальные функции контекста позиций, переходов и меток этого механизма, расширяющие сеть Петри, в этом случае должны учитывать динамические, изменяющиеся особенности энергозатрат при их регистрации – определении, распределении-объединении и сохранении.

Следует отметить, что некоторый произвольный компонент СС представляется в общей сети Петри СС некоторой ее подсетью, при моделировании характеризуемой меньшим параллелизмом потоков меток вплоть до единственно-го потока.

Так, например, в клиент-серверной системе присутствуют два соответствующих процесса, представляемых в процессе моделирования в сети Петри двумя взаимодействующими потоками меток.

Таким образом, в структуре такой общей сети Петри, определяемой отношением инцидентности ее позиций и переходов, можно выделить именуемые топологические элементы – линейные участки, ветвления, схождения, гамаки, циклы для элементарных потоков меток и компонентные подсети для монопоток (единственных в подсети) меток, характеризующих собственными именуемыми функциями и структурами – регистраторами элементарных и компонентных энергозатрат.

В соответствии с этим элементный, компонентный и общий учет энергозатрат при моделировании сети Петри может быть выполнен системой таких взаимодействующих регистраторов. В базовом представлении эта система определя-

ется регистраторами топологических элементов сети Петри, в расширенном – дополнена регистраторами подсетей – компонентов СС.

Изложенное позволяет сделать вывод, что аппарат идентификаторов, тестовых примитивов, модифицированный энергозатратами кроме прямого участия в формировании тестовых фрагментов и поведенческих тестов целом [4, 5] в том числе для сетей Петри, может быть расширен регистрацией и анализом энергозатрат в процессе синтеза поведенческих тестов и тестового моделирования.

Входная для поведенческой модели тестирования расширенная числовая сеть Петри $S(f)$ представляет поведенческие механизмы компонентов СС и определена как система вида:

$$S(f) = (P, T, X, Y, Ep, Et, F, S, M_0, L, K), \quad (1)$$

где

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_{np}\}$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{nt}\}$, – множества соответственно позиций и переходов $|P| = n_p$, $|T| = n_t$, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$ – алфавиты условий и событий $|X| = m$, $|Y| = l$;
- $Ep = \{ep_1, ep_2, \dots, ep_{np}\}$ – множество переменных целочисленных энергозатрат формирования условий для позиций из P ;
- $Et = \{et_1, et_2, \dots, et_{nt}\}$ – множество переменных целочисленных энергозатрат выполнения событий для переходов из T ;
- $F: (P \times X \times Ep \rightarrow T) \cup (T \times Y \times Et \rightarrow P)$ – расширенное условное отношение инцидентности позиций-переходов, зависящее от очередных (входных) условий, событий и энергозатрат, вызывающее исполнение функции модификации переменных условий, событий, разметки энергозатрат с сохранением их новых значений в соответствии S , то есть для некоторых $t_1, t_2 \in T$, $p_1, p_2 \in P$, $x \in X$, $ep \in Ep$, $y \in Y$, $et \in Et$ выполняется $t_1 \in F(p_1, x, ep)$ и $p_2 \in F(t_2, y, et)$;
- $S: (P \rightarrow X \times Ep) \cup (T \rightarrow Y \times Et)$ – соответствие собственных, внутренних переменных условий (храняемых с предыдущего формирования) и событий (храняемых с предыдущего выполнения), расширенное метрикой энергозатрат в позициях и переходах, включаемое (ассоциируемое) в F , то есть для некоторых $t \in T$, $p \in P$, $x \in X$, $ep \in Ep$, $y \in Y$, $et \in Et$ выполняется $(x, ep) = S(p)$ и $(y, et) = S(t)$;
- $M_0: P \rightarrow N$ – начальная разметка позиций с учетом начальных энергозатрат инициализации, $M: P \rightarrow N$ – функция текущей разметки позиций с учетом текущих накопленных энергозатрат, то есть для некоторых $p \in P$, $m_p \in N$ выполняется $m_p = M(p)$;

- $L:((P \times X \times Ep) \cup (T \times Y \times Et)) \rightarrow \{0,1\}$ – предикат формирования условий для позиций и выполнения событий для переходов;
- $K:(P \times X \times Ep \rightarrow X \times Ep) \cup (T \times Y \times Et \rightarrow Y \times Et)$ – функция модификации переменных условий, событий, разметки энергозатрат.

Входной и выходной алфавиты сети Петри $S(f)$ могут быть расширены за счет комплексирования кратных условий, событий, разметки энергозатрат, в результате будут получены $X' = N \times X \times Ep$ и $Y' = N \times Y \times Et$.

Расширение алфавитов позволяет определить для них множества вход-выходных слов, начинающихся и заканчивающихся для разных комбинаций условий и событий, а именно, $W' = W^{XY'} \cup W^{XX'} \cup W^{YX'} \cup W^{YY'}$, здесь e – нулевой шаг, $W^{XY'} = (X' \times Y') * \mathcal{U}\{e\}$, $W^{XX'} = ((X' \times Y') * \mathcal{U}\{e\}) \times X'$, $W^{YX'} = Y' \times ((X' \times Y') * \mathcal{U}\{e\})$, $W^{YY'} = Y' \times ((X' \times Y') * \mathcal{U}\{e\}) \times X'$.

Как и в случае [4], в энергонагруженной сети Петри, представляющей модель некоторого компонента СС, некоторые ее условия и события также могут быть недоступны для внешнего управления и наблюдения.

Соответственно могут быть дополнительно определены подмножества переменных условий $X' \subseteq X$ и переменных событий $Y' \subseteq Y$, внешне управляемых и наблюдаемых, пополненных пустым символом « θ », которые формируют внешние алфавиты для сети Петри.

В этих алфавитах определяется внешнее, наблюдаемое и управляемое поведение, по которому возможно делать выводы о соответствии проверяемой сети Петри $S'(f)$ требованиям эталонной сети Петри $S(f)$.

3. Построение модели тестирования с проверкой энергозатрат

Определение проверки энергозатрат одним из основных заданий существенно не изменяет выбор класса проверяемых свойств модифицированной эталонной сети Петри $S(f)$, для которых определяются отклонения проверяемой сети Петри $S'(f)$ и разрабатывается модель тестирования. Этот класс также может быть ограничен отклонениями отношения инцидентности F' проверяемой $S'(f) = (P', T', X', Y', Ep', Et', F', S', M_0', L', K')$ от отношения инцидентности F эталонной $S(f) = (P, T, X, Y, Ep, Et, F, S, M_0, L, K)$.

Ограничение $|P'| \leq |P|$ и $|T'| \leq |T|$ [4, 5] существенно упрощает определение соответствия отношений инцидентности $S(f)$ и $S'(f)$. В соответствии с этим в качестве класса исследуемых ошибок сети Петри $S'(f)$ выбрана статическая часть – отношение инцидентности F' – и динамичная

часть – функция разметки M' , предикат L' , функция модификации переменных K' .

В модифицированной энергонагруженной модели тестирования, как и в [4], явно предполагается тестовая проверка статической части F' , проверка же M', L', K' , в том числе, метрик энергозатрат для формирования условий в позициях, выполнения событий в переходах, а также энергозатрат, накапливаемых в метках-регистраторах, выполняется в фоновом режиме в зависимости от тестовой проверки F' .

Фоновый режим проверки энергозатрат позволяет модифицировать компонентную модель поведенческого тестирования базового представления [4] учетом энергозатрат для $S(f)$. Соответственно энергонагруженная модель тестирования получает вид семерки:

$$TS = (W', Pr, mPr, Ti, Tp, Sg_{tw}, Te_t), \quad (2)$$

где:

- $W' = \{w_1', w_2', \dots, w_{kw}'\}$ – зарегистрированное поведение – множество последовательных кратно-линейных слов-фрагментов внешнего (не структурированного распознанными позициями и переходами) поведения, на которое расширяется отношение инцидентности F , понимаемое как отношение достижимости на объединенном множестве $P \cup T$, то есть для некоторого $w_j' \in W' = W^{XY'} \cup W^{XX'} \cup W^{YX'} \cup W^{YY'}$ существуют $p_1, p_2 \in P$ и $t_1, t_2 \in T$ такие, что либо $F(p_1, w_j') = p_2$, либо $F(p_1, w_j') = t_2$, либо $F(t_1, w_j') = p_2$, либо $F(t_1, w_j') = t_2$;
- $Pr = \{pr_{1w}, pr_{2w}, \dots, pr_{kw}'\} = \{Pr_X \cup Pr_Y\}$ – проверяемые энергонагруженные свойства – базовые атомарные проверяемые свойства на основе частного, включенного в F , соответствия S вида четверок, рассматриваемых в составе свойств Pr , то есть, $Pr \subseteq (F: (P \times (X \times Ep) \rightarrow T) \cup (T \times (Y \times Et) \rightarrow P)) \cup ((S: (P \rightarrow X \times Ep) \cup (T \rightarrow Y \times Et)))$;
- $mPr = \{mpr_1, mpr_2, \dots, mpr_{np}\}$ – множество перемещаемых при моделировании трехуровневых меток – множество иерархий энергозатрат объектов сети Петри – от компонентных подсетей (корней иерархий) через топологические элементы (узлы иерархий – линейные участки, ветвления, схождения, гамаки, циклы) к позициям и переходам (листьям иерархий – узлам сети Петри), имеющих вид: $mpr_i = \{(root_i, \{(node_{i1}, \{leaf_{i11}, leaf_{i12}, \dots, leaf_{i1L_1}\}), (node_{i2}, \{leaf_{i21}, leaf_{i22}, \dots, leaf_{i2L_2}\}), \dots, (node_{iN_i}, \{leaf_{iN_i1}, leaf_{iN_i2}, \dots, leaf_{iN_iL_i}\})\})\}$;
- $Ti = \{ti_{1ib}, ti_{2ib}, \dots, ti_{kib}\}$ – множества модифицированных идентификаторов, энергонагруженных инкапсулированными отношением S и

функціями L, K в позиціях і переходах, зависящих от $S(f)$ и позволяющих находить опорные позиции и переходы в зарегистрированном поведении, некоторые идентификаторы $t_{ijkpp} \rightarrow, t_{ijkp} \rightarrow_p, t_{ijkt} \rightarrow, t_{ijkt} \rightarrow_i \in Ti$ определены как двойки вида

$$\begin{aligned} t_{ijkpp} \rightarrow &= (p_{jikp}, \mathbf{W}_{jikpp} \rightarrow), \\ \mathbf{W}_{jikpp} \rightarrow &= \cup_{tikip=1}^{kp} \mathbf{W}_{tikipp} \rightarrow, \mathbf{W}_{jikpp} \rightarrow \subset W_j, \\ t_{ijkp} \rightarrow_p &= (\mathbf{W}_{jikp} \rightarrow_p, p_{jikp}), \\ \mathbf{W}_{jikp} \rightarrow_p &= \cup_{tikip=1}^{kp} \mathbf{W}_{tikipp} \rightarrow, \mathbf{W}_{jikp} \rightarrow_p \subset W_j, \\ t_{ijkt} \rightarrow &= (t_{ijkt}, \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow), \\ \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow &= \cup_{jikt=1}^{kt} \mathbf{W}_{jikt} \rightarrow, \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow \subset W_j, \\ t_{ijkt} \rightarrow_i &= (\mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow_i, t_{ijkt}), \\ \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow_i &= \cup_{jikt=1}^{kt} \mathbf{W}_{jikt} \rightarrow_i, \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow_i \subset W_j, \end{aligned}$$

здесь $t_{ijkpp} \rightarrow, t_{ijkp} \rightarrow_p$ – идентификаторы позиций, $t_{ijkt} \rightarrow, t_{ijkt} \rightarrow_i$ – идентификаторы переходов эталонной $S(f)$, уникально инцидентные соответствующим позициям p_{jikp} и переходам t_{ijkt} , то есть любое уменьшение множеств $\mathbf{W}_{jikpp} \rightarrow, \mathbf{W}_{jikp} \rightarrow_p, \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow, \mathbf{W}_{ijkt} \rightarrow_i$ по числу компонент или длине их слов разрушает идентификацию, на множестве Ti справедливы отношения $\{\sigma, \eta, \tau, \nu\}$ совместности, несовместности, неопределенности и предшествования, действующие с учетом инцидентности позициям и переходам [5];

- $Tr = \{tp_1, tp_2, \dots, tp_k\}$ – множество модифицированных тестовых примитивов, энергонагруженных инкапсулированными отношением S и функциями L, K в позициях и переходах, зависящих от идентификаторов Ti и $S(f)$ и позволяющих строить тестовые фрагменты, множество атомарных последовательных кратного-линейных тестовых примитивов определено на основе атомарных проверяемых свойств Pr вида $pr_{jpp}, pr_{jpt}, pr_{jip}, pr_{jti} \in Pr$, и простых идентификаторов Ti вида $t_{ijkpp} \rightarrow, t_{ijkp} \rightarrow_p, t_{ijkt} \rightarrow, t_{ijkt} \rightarrow_i \in Ti$, здесь для некоторых тестовых примитивов $tp_{jkpp} \rightarrow, tp_{jkp} \rightarrow_p, tp_{jkpt} \rightarrow, tp_{j} \rightarrow_{pt}, tp_{jkpt} \rightarrow, tp_{jkt} \rightarrow_{tp}, tp_{jkt} \rightarrow, tp_{jkt} \rightarrow_{ti}, tp_{jkt} \rightarrow_{ti} \in Tr$ вида доек $tp_{jkpp} \rightarrow = (pr_{jpp} \circ t_{ijkpp} \rightarrow), tp_{jkp} \rightarrow_p = (t_{ijkp} \rightarrow_p \circ pr_{jpp}), tp_{jkpt} \rightarrow = (pr_{jpt} \circ t_{ijkt} \rightarrow), tp_{j} \rightarrow_{pt} = (t_{ijkp} \rightarrow_p \circ pr_{jpt}), tp_{jkpt} \rightarrow = (pr_{jip} \circ t_{ijkpp} \rightarrow), tp_{jkt} \rightarrow_{tp} = (t_{ijkt} \rightarrow_i \circ pr_{jip}), tp_{jkt} \rightarrow = (pr_{jti} \circ t_{ijkt} \rightarrow), tp_{jkt} \rightarrow_{ti} = (t_{ijkt} \rightarrow_i \circ pr_{jti})$, где $Tr \subset ((Pr \circ Ti) \cup (Ti \circ Pr))$ – атомарные контрольные примитивы поведения для проверки $S(f)'$ на соответствие эталонной $S(f)$, здесь « \circ » – обозначение полусвертки деМоргана с учетом инцидентности смежным, отождествленным в операции полусвертки « \circ » соответственно переходам или позициям [4];

– сигнатуры модифицированных операций преобразований тестового анализа $Sg_{ia} = \{\alpha, \beta, \gamma\}$ [5] в составе:

- $\alpha: Tf \times Ti \rightarrow Tf$ – идентификации в тестируемой сети Петри $S(f)^\wedge$ ее позиций или переходов эталонными позициями из P и переходами из T на основе заданных идентификаторов Ti и их отметки, выполненной в текущих тестируемых фрагментах в том числе некотором начальном поведении W' ;
- $\beta: Tf \times Tf \rightarrow Tf$ – отождествления позиций или переходов тестируемой сети Петри $S(f)^\wedge$, одинаково отмеченных метками эталонных позиций из P или переходов из T при идентификации α , выполненное в одном или нескольких текущих тестируемых фрагментах с получением модифицированного (расширенного) тестируемого фрагмента;
- $\gamma: Tf \rightarrow^F Tf$ – детерминизации поведения неотмеченных позиций или переходов в соответствии F^\wedge на основе следования или предшествования отмеченным позициям или переходам тестируемой $S(f)^\wedge$ согласно соответствию F эталонной $S(f)$, выполненное в текущих тестируемых фрагментах для преобразований зарегистрированного поведения W' с получением модифицированного тестируемого фрагмента;
- стратегии тестового анализа Te , предполагающей использование регистрации штатного поведения, сравнение с эталонными энергонагруженными тестовыми примитивами Tr в их связи с идентификаторами Ti , накопление показателя полноты поведенческой и энергозатратной проверки, использование модифицированных операций преобразований α, β, γ тестового анализа.

В иерархии энергонагруженных меток $mpr_i = \{(\text{root}_i, \{\text{node}_{i1}, \{\text{leaf}_{i11}, \text{leaf}_{i12}, \dots, \text{leaf}_{i1L1}\}), (\text{node}_{i2}, \{\text{leaf}_{i21}, \text{leaf}_{i22}, \dots, \text{leaf}_{i2L2}\}), \dots, (\text{node}_{iN1}, \{\text{leaf}_{iN11}, \text{leaf}_{iN12}, \dots, \text{leaf}_{iN1L1}\})\})\}$,

принято, что для листовых меток выполняется $Leaf_i = \{\text{leaf}_{i11}, \text{leaf}_{i12}, \dots, \text{leaf}_{i1L1}\} \cup \{\text{leaf}_{i21}, \text{leaf}_{i22}, \dots, \text{leaf}_{i2L2}\} \cup \{\text{leaf}_{iN11}, \text{leaf}_{iN12}, \dots, \text{leaf}_{iN1L1}\}$,

для узловых меток выполняется $Node_i = \{\text{node}_{i1}\} \cup \{\text{node}_{i2}\} \cup \dots \cup \{\text{node}_{iN1}\}$.

Тогда для некоторой текущей листовой метки $\text{leaf}_{ij}(p) \in Leaf_i$ некоторой позиции $p \in P$ и некоторой текущей листовой метки $\text{leaf}_{ij}(t) \in Leaf_i$ некоторого перехода $t \in T$ в текущем состоянии сети Петри выполняется:

$$\begin{aligned} \text{leaf}_{ij}(p) &= M(p) = pr_2(K(p, x', ep')) = ep, \\ \text{leaf}_{ij}(t) &= pr_2(K(t, y', et')) = et, \end{aligned}$$

где x' , y' и ep' , et' – соответственно входные условия позиции, событие перехода и предшествующее значение энергозатрат в метках $leaf_{ij}(p)$ позиции p , $leaf_{ij}(t)$ перехода t , а ep , et – текущие модифицированные функцией K значения энергозатрат позиции p , перехода t .

Для некоторой начальной метки $leaf_{ij}(p)_0 \in Leaf_{i0}$ некоторой позиции $p \in P$ в начальном состоянии сети Петри выполняется $leaf_{ij}(p)_0 = M_0(p)$.

Для некоторых узлов метки $node_{ij} \in Node$ некоторого топологического элемента, корневой метки $root_i$ некоторой иерархии и, наконец, всей сети Петри в ее начальном или текущем состоянии выполняется накопление значений непосредственно младших в иерархии меток:

$$\begin{aligned} node_{ij} &= leaf_{ij1} + leaf_{ij2} + \dots + leaf_{ijL_j}, \\ root_i &= node_{i1} + node_{i2} + \dots + node_{iN_i} \\ PNEnergy &= root_1 + root_2 + \dots + root_R \end{aligned}$$

Таким образом, представленная энергонагруженная модель тестирования позволяет определить условия, как собственно синтеза поведенческих тестов, так и проверки корректного энергопотребления.

Кроме компонентов приведенной модифицированной модели тестирования, как и в [5], в процедурах синтеза поведенческих тестов и тестовом моделировании модифицированных сетей Петри в целом по необходимости могут выбираться и использоваться связующие, ранее подтвержденные фрагменты, которые обеспечивают связи, как правило, кратчайшие, для формируемых тестовых фрагментов.

Заключение

В настоящей работе представлено дальнейшее развитие модели поведенческого тестирования сетевых систем обладающее свойствами регистрации обобщенного энергопотребления, основанное на расширенных сетях Петри.

Кроме определения условий поведенческого тестового контроля для сетей Петри представленная модель тестирования позволяет выполнить определение, распределение-объединение и сохранение обобщенных показателей энергозатрат для вершин, топологических элементов и подсетей некоторой эталонной сети Петри. Это обстоятельство дает основу для построения процедур синтеза поведенческих тестов для компонентов сетевых систем, расширенных как детальной, так и суммарной проверкой их энергопотребления.

Список использованной литературы

1. Coulouris, George, Distributed Systems: Concepts and Design, 5th ed. [Electronic resource] / George Coulouris, Jean Dollimore, Tim Kindberg, Gordon Blair – Boston: Addison-Wesley, 2011, 1067 p., available online on <https://azmuri.files.wordpress.com/2013/09/george-coulouris-distributed-systems-concepts-and-design-5th-edition.pdf>, accessed January 2016.
2. Piguet, C., Low-power CMOS circuits: technology, logic design and CAD tools [Text] / C. Piguet – CRC/Taylor & Francis, 2005, 440 p.
3. Иванов, Д. Е., Генетический алгоритм оценки пикового рассеивания тепла для больших интегральных схем [Текст] / Д. Е. Иванов, Т. А. Васяева // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, – № 13(167). 2011. – С. 277–283.
4. Мартынюк, А. Н., Модели тестирования для композиций сетей Петри [Текст] / А. Н. Мартынюк, Васим Аль Шариф // Науково-технічний журнал “Холодильна техніка і технологія”. — № 2(142). 2013. Одеса. – С. 84–87.
5. Kudryavtsev, V. B., Analysis and synthesis of abstract automata [Text] / V. B. Kudryavtsev, I. S. Grunskii, V. A. Kozlovskii // Journal of Mathematical Sciences September 2010, Volume 169, Issue 4, P. 481–532.

References

1. Coulouris, George, Dollimore Jean, Kindberg Tim, Blair Gordon, (2011) Distributed Systems: Concepts and Design, 5th ed. – Boston: Addison-Wesley, 1067 p., available online on <https://azmuri.files.wordpress.com/2013/09/george-coulouris-distributed-systems-concepts-and-design-5th-edition.pdf>.
2. Piguet, C., (2005) Low-power CMOS circuits: technology, logic design and CAD tools. – CRC/Taylor & Francis, 440 p.
3. Ivanov, D. E., Vasyaeva, T. A., (2011) Genetic Algorithm for Estimating Peak Heat Dissipation for Large Integrated Circuits [Genetichesky algoritm otsenki pikovogo rasseivaniya tepla dlya bolshih integralnih shem]. – Bulletin of East-Ukrainian National University named after V. Dal – No 13(167), P. 277–283.
4. Martynyuk, A. N., Wassim Al Shariff, (2013) Models of Testing for Petri Nets Compositions [Modeli testirovaniya dlya kompozitsy setei Petri]. – Science Technical Journal “Cold Technique and Technology” – No 2(142). Odessa, P. 84–87.
5. Kudryavtsev, V. B., Grunskii, I. S., Kozlovskii, V. A., (2010) Analysis and synthesis of

BEHAVIORAL MODEL OF TESTING FOR NETWORK SYSTEMS ENERGY**O. N. Martynyuk¹, Bui Van Thoung¹, D. O. Martynyuk², A. S. Stepovaya¹**¹Odessa National Polytechnic University²Private enterprise Nippon Auto

Abstract. The proposed work presents a behavioral model for testing the components of network systems, expanded by the ability to verify their energy consumption in a mode that is background in relation to the test control. The aim of the work is to achieve greater completeness in behavioral testing of network systems performed on the basis of constructing control experiments for Petri nets by expanding their energy recording properties. To achieve the goal, the task of developing a model for testing components of network systems by means of energy consumption analysis is being solved. For this purpose, the label-recorders of the three-level hierarchical structure displaying both detailed and total energy inputs have been introduced into the representing components of the extended Petri nets. The tags support expert-statistical metrics and energy-cost functions and ensure dynamic transportation and accumulation of energy costs in the process of their movement between positions and transitions. The testing model retains the ability to construct and use test primitives defined as vectors of sets of contiguous transition positions with the identification of relevant conditions and events. Extension of identifiers, test primitives with energy consumption indicators allowed to additionally apply them for the analysis of energy costs both in the process of synthesizing behavioral tests and during test modeling. Registration and analysis are performed as a definition, distribution-association and preservation of generalized power consumption indicators for vertices, topological elements and subnets of some Petri reference network. Thus, the model defines the conditions for the synthesis of tests for network systems performing functional testing, extended by energy cost analysis, when comparing an object with a standard, and provides the basis for constructing procedures for the synthesis of behavioral tests for network system components expanded by detailed and total verification of their energy consumption.

Keywords: network system, behavioral testing, extended Petri net, component energy costs, identifier, test primitive.

ПОВЕДІНКОВА МОДЕЛЬ ТЕСТУВАННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ**О. М. Мартинюк¹, Буї Ван Тхюнг¹, Д. О. Мартинюк², Г. С. Степова¹**¹Одеський національний політехнічний університет²Приватне підприємство Nippon Auto, м. Одеса

Анотація. У запропонованій роботі представлена поведінкова модель тестування компонентів мережевих систем, розширена можливістю перевірки їх енергоспоживання в режимі, фоновому по відношенню до тестового контролю. Метою роботи є досягнення більшої повноти в поведінковому тестуванні мережевих систем, що виконується на основі побудови контрольних експериментів для мереж Петрі за рахунок розширення їх властивостями реєстрації енерговитрат. Для досягнення мети в роботі вирішується завдання розвитку моделі тестування компонентів мережевих систем засобами аналізу енергоспоживання. Для цього в що представляють компоненти розширені мережі Петрі введені мітки-реєстратори трирівневої ієрархічної структури відображають як детальні, так і сумарні енерговитрати. Мітки підтримують експертно-статистичні метрики і функції енерговитрат і забезпечують динамічну транспортування і накопичення показників енерговитрат в процесі свого переміщення між позиціями і переходами. Модель тестування зберігає здатність побудови і використання тестових примітивів, визначених як вектора комплексів суміжних позицій-переходів з ідентифікацією відповідних умов та соціальні обставини. Розширення ідентифікаторів, тестових примітивів показниками енергоспоживання дозволило додатково застосувати їх для аналізу енерговитрат як у процесі синтезу поведінкових тестів, так і при тестовому моделюванні. Реєстрація та аналіз виконуються як визначення, розподіл-об'єднання і збереження узагальнених показників енерговитрат для вершин, топологічних елементів і підмереж деякої еталонної мережі Пет-

рі. Таким чином, модель визначає умови синтезу тестів для мережевих систем, що виконують функціональну перевірку, розширену аналізом енерговитрат, при порівнянні деякого об'єкта з еталоном, і дає основу для побудови процедур синтезу поведінкових тестів для компонентів мережевих систем, розширених детальної і сумарною перевіркою коректності їх енергоспоживання.

Ключові слова: мережева система, поведінковий тестування, розширена мережа Петрі, компонентні енерговитрати, ідентифікатор, тестовий примітив.

Получено 30.04.2018



Мартынюк Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: anmartynyuk@ukr.net, тел.: +38(067) 489-81-69

Martynyuk Oleksandr Nikolaevich, Dr of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Intelligent Systems and Networks of the Odessa National Polytechnic University. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: anmartynyuk@ukr.net, phone: +38 (067) 489-81-69

ORCID ID: 0000-0003-1461-2000



Буй Ван Тхионг, аспирант кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: govarava@gmail.com, тел.: +38(096) 646-00-20

Bui Van Thiong, post graduate of the Department of Computer Intelligent Systems and Networks of Odessa National Polytechnic University. Prosp. Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, E-mail: govarava@gmail.com, tel. : +38(096) 646-00-20

ORCID ID: 0000-0002-6176-5432



Мартынюк Дмитрий Александрович, инженер частного предприятия Nippon Auto. Ул. Академика Вильямса, 71А, Одесса, Украина, E-mail: domarty@ukr.net, тел.: +38(093) 074-95-34

Martynyuk Dmitry Oleksandrovich, engineer of the private enterprise Nippon Auto. Str. Academician Williams, 71A, Odessa, Ukraine, E-mail: domarty@ukr.net, тел.: +38(095) 690-7094

ORCID ID: 0000-0001-9267-1474



Степовая Анна Сергеевна, ассистент кафедры компьютеризированных систем управления Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: sygak.anna@mail.ru, тел.: +38(093) 705-15-93

Stepovaya Anna Sergeevna, assistant of the Department of Computerized Control Systems of Odessa National Polytechnic University. Prosp. Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, E-mail: sygak.anna@mail.ru, tel. : +38 (093) 705-15-93

ORCID ID: 0000-0002-7223-8822