

## ПОВЕДЕНЧЕСКИЙ РАБОЧИЙ КОНТРОЛЬ СЕТЕВЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ

А. Н. Мартынюк<sup>1</sup>, Ахмеш Тамим<sup>1</sup>, Д. А. Мартынюк<sup>2</sup>, А. В. Дрозд<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одесский национальный политехнический университет

<sup>2</sup>Частное предприятие Nippon Auto, г. Одесса

**Аннотация** Средства рабочего контроля, применяемые для сетевых компьютерных систем, с необходимостью проверяют их поведенческие свойства, что находит отражение в построении сценариев проверки. В статье представлена модель поведенческого рабочего контроля на основе расширенных сетей Петри. Модель отличается идентификацией контрольных примитивов, операциями композиции фрагментов и определяет условия поведенческого рабочего контроля сетевых компьютерных систем.

**Ключевые слова:** сетевая компьютерная система, поведенческий рабочий контроль, распознающий эксперимент, расширенная сеть Петри, идентификатор, контрольный примитив.

### Введение

Стремительный рост объемов и сложности информации, вычислительной производительности сетевых компьютерных систем (СКС), скоростных коммуникационных возможностей глобальной сети, глубокая информатизация и компьютеризация всех сфер деятельности общества, остро критичная к достоверности результатов, обуславливают необходимость серьезных усилий по опережающему развитию соответствующих систем контроля и диагноза (СКД) [1]. Размерность, сложность, распределенность и многоуровневость СКС усиливают роль системных, поведенческих, структурно-функциональных подходов в иерархии моделей и методов анализа и синтеза, в частности, контроля и диагноза [2].

Вместе с тем, как комбинаторная сложность, так и необходимость совместного рассмотрения структурных, поведенческих, информационных свойств СКС стимулируют развитие комплексных технологий анализа и синтеза, одним из примеров которых может служить Model Checking. Как известно, аппаратно-программные средства рабочего контроля в составе СКД обеспечивают оперативную проверку в ходе основного функционирования СКС. Существующие средства нижнего уровня аппаратно-программных реализаций, в частности, мажоритарного контроля и контроля по модулю, сигнатурного анализа, обеспечивают высокую полноту проверки в заданных классах ошибок-неисправностей.

Тем не менее, ограничения комбинаторной и структурной сложности таких средств для современных СКС, особенно нерегулярных, возможности их восходящего применения для орга-

низации рабочего контроля на верхних системных, поведенческих, структурно-функциональных уровнях спецификаций СКС частично компенсируются средствами поведенческого контроля, заимствующими подходы верификации сценариев и программ, основанных на временных и процессных исчислениях. В этом случае, предполагающем либо управляемый тестовый эксперимент, либо отдельный процесс формального доказательства, проблематично совмещение требуемой полноты оперативной проверки и пассивного фонового режима рабочего контроля. Кроме того, не в полной мере удается совместить анализ временных и вероятностных характеристик параллельных событийных систем [3].

Следовательно, целесообразно совершенствование специализированных подходов к поведенческому рабочему контролю [4, 5], в частности, основанному на пассивных распознающих экспериментах для усложненных моделей автоматного класса, эффективным представителем которых могут быть расширенные сети Петри.

### 1. Цель, постановка задачи

Цель исследования состоит в повышении полноты поведенческого рабочего контроля, выполняемого для компонентов СКС при основном функционировании с учетом их временных и случайных свойств, что может быть получено при представлении СКС сетями Петри.

Для достижения цели решаются задачи:

- построения модели поведенческого рабочего контроля для компонента СКС, основанной на расширенной сети Петри и распознавании ее соответствий и отношений;
- определения основных шагов фоновой процедуры выполнения поведенческого рабочего контроля компонентов СКС;

- оценки ожидаемой вычислительной сложности поведенческого рабочего контроля.

## 2. Построение модели поведенческого рабочего контроля

Применение для моделирования СКС композиций взаимодействующих расширенных сетей Петри позволяет использовать распознавание фрагментов эталонного поведения [1] в организации поведенческого рабочего контроля СКС, фонового для их основного функционирования.

Расширенная сеть Петри, развивающая подобные автоматы [2], имеет вид:

$$S(f)=(P, T, X, Y, In, Pb, F, S, M_0, L, K),$$

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  $|X|=m$ ,  $|Y|=l$ ;
- $In \subset \mathbb{N}$  – множество целочисленных временных интервалов переходов;
- $Pb \subset [0; 1] \subset \mathbb{D}$  – множество коэффициентов вероятности в диапазоне  $[0; 1]$ ;
- $F: (P \times X \times In \times Pb \rightarrow T) \cup (T \times Y \times In \times Pb \rightarrow P)$  – расширенное, включающее  $S$ , условное отношение инцидентности позиций-переходов;
- $S: (P \rightarrow X \times In \times Pb) \cup (T \rightarrow Y \times In \times Pb)$  – расширенное включенное в  $F$  соответствие переменных условий, событий, временных интервалов, коэффициентов вероятности позициям и переходам;
- $M_0: P \rightarrow \{0, 1\}$  – начальная разметка, ( $M: P \rightarrow \{0, 1\}$  – функция текущей разметки);
- $L: \square T \times Y \times In \times Pb \rightarrow \{0, 1\}$  – предикат срабатывания переходов;
- $K: (P \times X \times In \times Pb \rightarrow X \times In \times Pb) \cup (T \times Y \times In \times Pb \rightarrow Y \times In \times Pb)$  – функция модификации переменных условий, событий, временных интервалов, коэффициентов вероятности.

Комплексирование кратных (по числу кратных дуг) условий, событий, временных интервалов, коэффициентов вероятности позволяет расширить входной и выходной алфавиты сети Петри  $S(f)$ , то есть  $X'=N \times X \times In \times Pb$  и  $Y'=N \times Y \times In \times Pb$ , а также определить для них множества входных слов  $W^{XY'}=(X' \times Y') * \cup \{e\}$ ,  $W^{XX'}=((X' \times Y') * \cup \{e\}) \times X'$ ,  $W^{YX'}=Y' \times ((X' \times Y') * \cup \{e\}) \times X'$ ,  $W^{YY'}=Y' \times ((X' \times Y') * \cup \{e\})$ , пополненные нулевым шагом  $e$ . Пусть объединение этих множеств обозначено как  $W'=W^{XY'} \cup W^{XX'} \cup W^{YX'} \cup W^{YY'}$ .

В композиции сетей Петри для некоторой компонентной сети Петри  $S(f)$  могут быть определены подмножества переменных условий

$X'=X' \cup \{\theta\}$  и переменных событий  $Y'=Y' \cup \{\theta\}$ , соответственно внешне управляемых и наблюдаемых, пополненных маскирующим символом « $\theta$ ». Данные подмножества формируют внешние алфавиты компонентной сети Петри  $S(f)$ . Соответственно могут модифицироваться множества слов  $W'$ ,  $W^{XY'}$ ,  $W^{XX'}$ ,  $W^{YX'}$ ,  $W^{YY'}$ .

Класс контролируемых свойств  $Pr$  эталонной сети Петри  $S(f)$ , для которых определяются отклонения контролируемой сети Петри  $S(f)^\wedge$  и разрабатывается модель контроля, ограничен отклонениями отношения инцидентности  $F^\wedge$  и, в его составе, частного соответствия  $S^\wedge$  проверяемой  $S(f)^\wedge=(P^\wedge, T^\wedge, X^\wedge, Y^\wedge, In^\wedge, Pb^\wedge, F^\wedge, S^\wedge, M_0^\wedge, L^\wedge, K^\wedge)$  от отношения инцидентности  $F$  и в его составе соответствия  $S$  эталонной  $S(f)=(P, T, X, Y, In, Pb, F, S, M_0, L, K)$  при ограничении, что  $|P^\wedge| \leq |P|$  и  $|T^\wedge| \leq |T|$ , уменьшающем размерность сопоставления этих отношений для  $S(f)$  и  $S(f)^\wedge$ . Класс ошибок сети Петри  $S(f)^\wedge$  представлен статической частью – ее отношением инцидентности  $F^\wedge$  и соответствием  $S^\wedge$ , и динамической частью – ее функцией разметки  $M^\wedge$ , предикатом  $L^\wedge$ , функцией модификации переменных  $K^\wedge$ . В рабочем контроле должна выполняться проверка статической  $F^\wedge$  и  $S^\wedge$ , и динамической  $M^\wedge, L^\wedge, K^\wedge$  частей.

Как базовая, для рабочего контроля  $S(f)^\wedge$  используется модель рабочего контроля  $CS$  вида:

$$CS=(W', Pr, Ci, Cp, Sg_{ia}, Ce_i),$$

где

- $W'=\{w_1', w_2', \dots, w_{kw}'\}$  – 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  $F(t_1, w_j')=t_2$ ;
- $Pr=\{pr_1, pr_2, \dots, pr_k\}$  – атомарно заданные последовательные кратно-линейные проверяемые свойства на основе общей инцидентности  $F$ , включающей отношение  $S$ ,  $Pr \subset ((P \times W' \times P) \cup (P \times W' \times T) \cup (T \times W' \times P) \cup (T \times W' \times T))$ ;
- $Pr_u=\{pr_{1u}, pr_{2u}, \dots, pr_{ku}\}=\{Pr_x \cup Pr_y\}$  – базовые атомарные проверяемые свойства на основе частного, включенного в  $F$ , соответствия  $S$  вида четверок, рассматриваемые в составе свойств  $Pr$ , то есть,

- $Pr \subseteq (F: (P \times (X \times In \times Pb) \rightarrow T) \cup (T \times (Y \times In \times Pb) \rightarrow P)) \cup ((S: (P \rightarrow X \times In \times Pb) \cup (T \rightarrow Y \times In \times Pb)))$ ;
- $Ci = \{ci_1, ci_2, \dots, ci_{kt}\}$  – атомарные последовательные идентифицирующие свойства (идентификаторы позиций или переходов), для некоторых  $ci_{jkkp}^{\rightarrow}, ci_{jkr}^{\rightarrow p}, ci_{jkt}^{\rightarrow}, ci_{jkt}^{\rightarrow t} \in Ci$  определенные как двойки вида  $ci_{jkkp}^{\rightarrow} = (p_{jtkp}, \mathbf{w}_{jtkpp}^{\rightarrow})$ ,  $\mathbf{w}_{jtkpp}^{\rightarrow} = \cup_{jtkip=1}^{kp} \mathbf{w}_{jtkipp}^{\rightarrow} = \mathbf{w}_{jtkpp}^{\rightarrow} \subset W_j$ ,  $ci_{jkr}^{\rightarrow p} = (\mathbf{w}_{jtkp}^{\rightarrow p}, p_{jtkp})$ ,  $\mathbf{w}_{jtkp}^{\rightarrow p} = \cup_{jtkip=1}^{kp} \mathbf{w}_{jtkipp}^{\rightarrow p} = \mathbf{w}_{jtkp}^{\rightarrow p} \subset W_j$ ,  $ci_{jkt}^{\rightarrow} = (t_{jikt}, \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow})$ ,  $\mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow} = \cup_{jikt=1}^{kt} \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow} = \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow} \subset W_j$ ,  $ci_{jkt}^{\rightarrow t} = (\mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t}, t_{jikt})$ ,  $\mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t} = \cup_{jikt=1}^{kt} \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t} = \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t} \subset W_j$ , идентификаторы позиций  $ci_{jkkp}^{\rightarrow}, ci_{jkr}^{\rightarrow p}$  и переходов  $ci_{jikt}^{\rightarrow}, ci_{jikt}^{\rightarrow t}$  эталонной  $S(f)$  уникально инцидентны соответствующим позициям  $p_{jtkp}$  и переходам  $t_{jikt}$  – уменьшение множеств  $\mathbf{w}_{jtkpp}^{\rightarrow} = \mathbf{w}_{jtkpp}^{\rightarrow}$ ,  $\mathbf{w}_{jtkp}^{\rightarrow p} = \mathbf{w}_{jtkp}^{\rightarrow p}$ ,  $\mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow} = \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow}$ ,  $\mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t} = \mathbf{w}_{jikt}^{\rightarrow t}$  по числу компонентов или длине их слов разрушает идентификацию, на множестве  $Ci$  справедливы отношения  $\{\sigma, \eta, \tau, \nu\}$  совместимости, несовместимости, неопределенности и предшествования, действующие с учетом инцидентности позициям и переходам;
  - $Cr = \{cr_1, cr_2, \dots, cr_k\}$  – атомарные последовательные кратнo-линейные контрольные примитивы на основе атомарных проверяемых свойств  $Pr$  вида  $pr_{jpp}, pr_{jpt}, pr_{jrp}, pr_{jtt} \in Pr$ , и простых идентификаторов  $Ci$  вида  $ci_{jkkp}^{\rightarrow}, ci_{jkr}^{\rightarrow p}, ci_{jkt}^{\rightarrow}, ci_{jkt}^{\rightarrow t} \in Ci$ , для некоторых  $cr_{jkkpp}^{\rightarrow}, cr_{jkr}^{\rightarrow pp}, cr_{jktpt}^{\rightarrow}, cr_{j}^{\rightarrow pt}, cr_{jkrtp}^{\rightarrow}, cr_{jkt}^{\rightarrow tp}, cr_{jktu}^{\rightarrow}, cr_{jkt}^{\rightarrow u} \in Cr$  вида  $cr_{jkkpp}^{\rightarrow} = (pr_{jpp} \circ ci_{jkkp}^{\rightarrow})$ ,  $cr_{jkr}^{\rightarrow pp} = (ci_{jkr}^{\rightarrow p} \circ pr_{jpp})$ ,  $cr_{jktpt}^{\rightarrow} = (pr_{jpt} \circ ci_{jkt}^{\rightarrow})$ ,  $cr_{jkr}^{\rightarrow pt} = (ci_{jkr}^{\rightarrow p} \circ pr_{jpt})$ ,  $cr_{jkrtp}^{\rightarrow} = (pr_{jrp} \circ ci_{jkr}^{\rightarrow p})$ ,  $cr_{jkt}^{\rightarrow tp} = (ci_{jkt}^{\rightarrow t} \circ pr_{jrp})$ ,  $cr_{jktu}^{\rightarrow} = (pr_{jtt} \circ ci_{jkt}^{\rightarrow})$ ,  $cr_{jkt}^{\rightarrow u} = (ci_{jkt}^{\rightarrow t} \circ pr_{jtt})$ , где  $Cr \subseteq ((Pr \circ Ci) \cup (Ci \circ Pr))$  – 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;
  - $Sg_{ia} = \{\alpha, \beta, \gamma\}$  – сигнатура операций контрольного анализа:
    - $\alpha$ -идентификации в контролируемой сети Петри  $S(f)$  ее позиций или переходов эталонными позициями из  $P$  и переходами из  $T$  на основе заданных идентификаторов  $Ci$  и их отметки, выполненной в текущих контрольных фрагментах

в том числе некотором начальном поведении  $W$  вида  $\alpha: Cf \times Ci \rightarrow Cf$ ;

- $\beta$ -отождествления позиций или переходов контролируемой сети Петри  $S(f)$ , одинаково отмеченных метками эталонных позиций из  $P$  или переходов из  $T$  при идентификации  $\alpha$ , выполненное в одном или нескольких текущих контрольных фрагментах с получением модифицированного (расширенного) контрольного фрагмента вида  $\beta: Cf \times Cf \rightarrow Cf$ ;
- $\gamma$ -детерминизации поведения неотмеченных позиций или переходов в соответствии  $F$  на основе следования или предшествования отмеченным позициям или переходам контролируемой  $S(f)$  согласно соответствию  $F$  эталонной  $S(f)$ , выполненное в текущих контрольных фрагментах для преобразований зарегистрированного поведения  $W$  с получением модифицированного контрольного фрагмента вида  $\gamma: Cf \rightarrow^F Cf$ ;
- $Se_i$  – стратегия контрольного анализа, встроенная в модель  $CS$ , содержащая пассивный контроль  $Pe$ , включающий текущую регистрацию поведения  $W$ , сравнение с эталонными контрольными примитивами  $Cr$  в привязке к указанным идентифицированным позициям из  $P$  и переходам из  $T$ , накопление критерия полноты проверки, а также активный контроль  $Ae$ , включающий операции сигнатуры  $Sg_{ia}$   $\alpha$  – идентификацию и отметку эталонных позиций из  $P$  и переходов из  $T$  в поведении  $W$  с помощью идентификаторов  $Ci$ ,  $\beta$  – отождествление одинаково отмеченных позиций из  $P$  и переходов из  $T$  в поведении  $W$ ,  $\gamma$  – детерминизацию поведения неотмеченных позиций или переходов на основе следования или предшествования отмеченным позициям из  $P$  или переходам из  $T$ .

### 3. Построение процедуры поведенческого рабочего контроля

Процедура рабочего контроля строит поведенческие проверки на основе идентификаторов и устанавливает соответствие эталонной  $S(f)$  и проверяемой  $S(f)$  моделей.

Процедура выполняет поиск контрольных примитивов из  $Cr$ , для которых выполняется включение в зарегистрированное поведение с дополнительным выполнением операций идентификации  $\alpha$ , отождествления  $\beta$ , упорядочивания  $\gamma$ . В процедуре выполняются пункты:

1. Для эталонной сети Петри  $S(f)$  определяются проверяемые свойства  $Pr$ ,

идентификаторы  $C_i$ , контрольные примитивы  $C_p$ , начальные структуры поведения  $C_f = W_{AS(f)}$  для вспомогательной параллельной структуры автоматного вида  $A_{S(f)}$  сети Петри  $S(f)$ .

2. На множестве контрольных фрагментов  $C_f$  функционирования  $W_{AS(f)}$  в структурах  $A_{S(f)}$  выполняется фоновый для основного функционирования поиск ближайших к текущему состоянию  $S(f)$  идентификаторов  $C_i$  и контрольных примитивов  $C_p$ , а также фиксация подтвержденных транспортирующих путей  $Link$  к этим идентификаторам и примитивам, в том числе отложенная (подтверждаемая средствами контроля впоследствии параллельно основному функционированию), с модификацией контрольных фрагментов  $C_f$ , как структурированных элементов на расширяющемся в процессе основного функционирования множестве слов  $W_{AS(f)}$ .

3. Для  $W_{AS(f)}$  (и в их составе  $C_f$ ) применяются операции  $\{\alpha, \beta, \gamma\}$  для очередного преобразования множества слов поведения  $W_{AS(f)}$  и контрольных фрагментов  $C_f$  (идентификации  $\alpha$ , отождествление  $\beta$ , детерминизации  $\gamma$ ).

4. В  $C_f$ ,  $W_{AS(f)}$  выполняется зависящая от прироста идентификаторов  $C_i$  и примитивов  $C_p$  регистрация новых структур, появляющихся в результате преобразований  $\{\alpha, \beta, \gamma\}$ .

5. Для новых структур выполняется поиск не зафиксированных в  $C_f$ ,  $W_{AS(f)}$  идентификаторов  $C_i$  и контрольных примитивов  $C_p$ , которые не были включены ранее. Процедура завершает работу при покрытии всего множества эталонных контрольных примитивов  $C_p$ , иначе – к пункту 2.

В рабочем контроле на основе множества контрольных примитивов  $C_p$  и фрагментов  $C_f$  используются отношения их совместимости, несовместимости, неопределенности, квазипорядка  $\{\sigma, \eta, \tau, \nu\}$  сигнатуры множественных  $Sig_1 = \{\cup, \cap, \neg\}$  и векторных  $Sig_2 = \{\bullet\}$  операций над  $C_f$ ,  $W_{AS(f)}$ . Их совокупность формирует алгебраическую модель  $Alg_T = (C_f, Sig_1 \cup Sig_2, \{\sigma, \eta, \tau, \nu\})$ , которая позволяет определить множество проверок рабочего контроля для структуры  $A_{S(f)h}$ .

#### 4. Оценка размерности анализа при поведенческом рабочем контроле

Представление взвешенного графа сети Петри  $S(f)$ , где  $|P|=n_p$ ,  $|T|=n_t$ ,  $n = n_p + n_t$ ,  $|X|=m$ ,  $|Y|=L$ , в памяти средств системы контроля с помощью, списковых структур требует не более  $n_t$  условных списковых ячеек памяти, каждая из которых содержит не более  $4n_p + 3L + 4$  условных поля для перехода и  $3m + 2$  условных поля для позиции. То есть, верхняя граница общего количества условных полей равна:

$$c_{S(f)} = n_t(4n_p + 3L + 4) + n_p(3m + 2).$$

Наиболее длинный поиск равен  $n_p 2m$  шагам для позиций и  $n_t 2(n_p + L + 2)$  для переходов. Обе величины имеют линейную зависимость от алфавитов  $S(f)$ . Итоговая длина равна:

$$d_{S(f)} = 4mn_p n_t (n_p + L + 2).$$

Автомат  $A_{S(f)}$ , представляющий параллельные процессы сети Петри, для входного или выходного вектора позиций перехода содержит  $n_t$ -смежных векторов не более  $n_p$  позиций, то есть вместе –  $2n_p(n_t - 1)$ , а для всех переходов:

$$c_{AS(f)} = 2n_p n_t (n_t - 1).$$

Наиболее длинный поиск с учетом проверки условий для одного перехода равен  $2mn_p n_t (n_t - 1)$ . Проверка исполнения событий одного перехода –  $L$ , для всех переходов –  $Ln_t$ . Длина проверки перехода –  $2n_p(n_t - 1) + Ln_t$ , всех переходов:

$$d_{AS(f)} = n_t(2n_p(n_t - 1) + L).$$

В представлении графов разметки  $H_{A(S(f))}$  для построения идентификаторов число векторов позиций, входных и выходных, для переходов определяется как –  $2n_p n_t$ . Число событий в переходах –  $Ln_t$ , условий –  $m 2n_p n_t$ , для переходов с позициями в одном переходе –  $2Lmn_p n_t$ .

Число уровней графов  $H_{A(S(f))} = (n_t - 1)$ . Нижняя оценка числа состояний –  $2n_p n_t (n_t - 1 + 1) = 2n_p n_t^2$ , верхняя оценка –  $(2Lmn_p n_t)^{n_t} - 1$ . Нижняя оценка числа ветвлений –  $2Lmn_p n_t (n_t - 1)$ , верхняя оценка –  $(2Lmn_p n_t)^{n_t} - 2$  (без корня). Для числа элементов без подтверждения выход-входов позиций следует нижняя оценка:

$$2n_p n_t^2 + 2Lmn_p n_t (n_t - 1) = 2n_p n_t (n_t + Lm(n_t - 1))$$

и верхняя оценка:

$$(2Lmn_p n_t)^{n_t} - 1 + (2Lmn_p n_t)^{n_t} - 2 = (2Lmn_p n_t)^{n_t} - 3.$$

Подтверждение выход-входов позиций требуют на одном уровне –  $(n_p n_t)!$  перестановок, на всех уровнях –  $(n_t - 1)(n_p n_t)!$  перестановок.

Общая сложность представления определяет нижнюю оценку:

$$c_{H(A(S(f)))}^{\min} = 2n_p n_t^2 + 2Lmn_p n_t (n_t - 1) + (n_t - 1)(n_p n_t)! = 2n_p n_t (n_t + Lm(n_t - 1)) + (n_t - 1)(n_p n_t)!,$$

и верхнюю оценку:

$$c_{H(A(S(f)))}^{max} = ((2Lmn_p n_i)^{m_i} - 1) + ((2Lmn_p n_i)^{m_i} - 2) + (n_i - 1)(n_p n_i)! = 2(2Lmn_p n_i)^{m_i} - 3 + (n_i - 1)(n_p n_i)!.$$

Максимальний проход поиска условий одного уровня –  $mn_p n_i$ , всех уровней –  $(n_i - 1 + 1)mn_p n_i = mn_p n_i^2$ . Максимальный проход поиска событий на одном уровне –  $Ln_i$ , на всех уровнях –  $Ln_i(n_i - 1)$ . Общая длина прохода имеет вид:

$$d_{H(A(S(f)))} = mn_p n_i^2 + Ln_i(n_i - 1) = n_i(mn_i + L(n_i - 1)).$$

Общая сложность контрольного анализа сети Петри  $S(f)$  определяется суммой полученных нижних и верхних оценок, то есть:

$$c_{\Phi T}^{min} = n_i(4n_p + 3L + 4) + n_p(3m + 2) + 2n_p n_i(n_i - 1) + 2n_p n_i(n_i + Lm(n_i - 1)) + (n_i - 1)(n_p n_i)!, \\ c_{\Phi T}^{max} = n_i(4n_p + 3L + 4) + n_p(3m + 2) + 2n_p n_i(n_i - 1) + 2(2Lmn_p n_i)^{m_i} - 3 + (n_i - 1)(n_p n_i)!.$$

Верхняя оценка анализа рабочего контроля определяется оценками контрольных примитивов и транслирующих путей.

Оценка контрольного примитива имеет вид:

$$2mn_p + L + n_i(2mn_p + L) = (2mn_p + L)(n_i + 1).$$

Сумма контрольных примитивов:

$$n_i(2mn_p + L)(n_i + 1).$$

Верхняя оценка транслирующего пути –  $n_i(2mn_p + L)$ , средняя оценка соответствует половине этой величины, тогда оценка длины всех транслирующих путей определяется как:

$$n_i^2(2mn_p + L)/2.$$

Верхняя оценка общей длины пути рабочего контроля в соответствии с этим имеет вид:

$$d^{max} = n_i(2mn_p + L)(n_i + 1) + n_i^2(2mn_p + L)/2 = n_i(2mn_p + L)(1.5n_i + 1).$$

### Заключение

В работе представлены результаты развития моделей поведенческого рабочего контроля сетевых компьютерных систем, характеризуемого особенностями параллелизма, интервальности и недетерминизма расширенных сетей Петри.

Контрольные фрагменты с сигнатурами операций и отношений определяют условия восстановления функциональных отражений сетей Петри, то есть образуют формальную основу для построения метода поведенческого фонового рабочего контроля компонентов СКС

### 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. 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.
3. Сугак, А. С., Построение поведенческих тестов для недетерминированной временной автоматной модели [Текст] / А. С. Сугак, А. Н. Мартынюк // Электротехнические и компьютерные системы – №17(93), 2015. Одесса. – С. 63–68.
4. Sugak, Anna, The Hybrid Agent Model of Behavioral Testing [Text] / Anna Sugak, Oleksandr Martynyuk, Oleksandr Drozd // International Journal of Computing, 2015, Volume 14, Issue 4, Ternopil, P. 232–244.
5. Martynyuk, Oleksandr, Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems [Text] / Oleksandr Martynyuk, Anna Sugak, Dmitry Martynyuk, Oleksandr Drozd // Proceedings of the 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 24–26 September 2017, Bucharest, Romania, P. 888–893.

### References

1. Coulouris, George, Dollimore Jean, Kindberg Tim, Blair Gordon, (2011) Distributed Systems: Concepts and Design, 5th ed. – 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>.
2. Kudryavtsev, V. B., Grunskii, I. S., Kozlovskii, V. A., (2010) Analysis and synthesis of abstract automata. – Journal of Mathematical Sciences September, Volume 169, Issue 4, P. 481–532.
3. Sugak, A. S., Martynyuk, A. N., (2015) Building behavioral tests for nondeterministic time automata model [Postroenie povedencheskih testov dlia nedeterminirovanoj vremenoj avtomatnoi modeli]. – Electrotechnical and Computer Systems – No17(93). Odessa. P. 63–68.
4. Sugak, Anna, Martynyuk, Oleksandr, Drozd, Oleksandr, (2015) The Hybrid Agent Model of Behavioral Testing. – International Journal of Computing, Volume 14, Issue 4, Ternopil, P. 232–244.

5. Martynyuk, Oleksandr, Sugak, Anna, Martynyuk, Dmitry, Drozd, Oleksandr, (2017) Evolutionary Network Model of Testing of the Distributed Information Systems. – Proceedings of the 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent

Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, 24–26 September, Bucharest, Romania, P. 888–893.

## BEHAVIORAL OPERATIONAL CHECKING OF NETWORK COMPUTER SYSTEMS

O. N. Martynyuk<sup>1</sup>, Ahmesh Tamim<sup>1</sup>, O. V. Drozd<sup>1</sup>, D. O. Martynyuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Odessa National Polytechnic University

<sup>2</sup>Private enterprise Nippon Auto

**Abstract.** *The means of operational checking used for modern network computer systems need to check their behavioral properties, which is reflected in the construction and application of developed scenarios for distributed background checking of the functioning of networked computer systems (NCS) and their components. The purpose of this paper is to increase the completeness of the behavioral operational checking performed for the NCS components in real time, the main function taking into account the time and random characteristics of the work. This possibility can be obtained by presenting components of NCS with extended Petri nets. To achieve the goal, the following tasks are solved: constructing a behavioral operational checking model for the NCS component based on the recognition of Petri net functions; definition of the main steps of the procedure for performing behavioral operational checking of NCS components; Estimating the expected computational complexity of the received behavioral operational checking. The model of behavioral operational checking presented in this work is based on the organization of a background recognition experiment for an extended Petri net. The expanded Petri net introduces interval (time) and probabilistic properties of functions for positions and transitions. The model has the features of recognition of the advanced functions of the Petri net, the use of behavior identifiers, checking primitives and fragments based on them, as well as the signature of the fragments composition operations and relations for them. Preliminary construction of identifiers can be performed on the basis of special graphs of achievable markings. Identifiers and primitives along with the operations of transforming the behavior of the Petri net into its recognized structure make it possible to construct a procedure for comparing the behavior of the tested and reference component in the course of operational checking. The model and procedure can be taken as a basis for determining the conditions of behavioral operational checking, building a distributed method and a operational checking system of NCS. General analytical estimates of the dimension of the length of the checking analysis show its attainability with the use of modern means of operational checking.*

**Keywords:** *network computer system, behavioral operational checking, recognizing experiment, expanded Petri net, identifier, checking primitive.*

## ПОВЕДІНКОВИЙ РОБОЧИЙ КОНТРОЛЬ МЕРЕЖЕВИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

О. М. Мартинюк<sup>1</sup>, Ахмеш Тамім<sup>1</sup>, Д. О. Мартинюк<sup>2</sup>, О. В. Дрозд<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Одеський національний політехнічний університет

<sup>2</sup>Приватне підприємство Nippon Auto, м. Одеса

**Анотація.** *Засоби робочого (оперативного) контролю, що застосовуються для сучасних мережеских комп'ютерних систем, з необхідністю перевіряють їх поведінкові властивості, що знаходить відображення в побудові і застосуванні розвинених сценаріях розподіленої фонові перевірки функціонування мережеских комп'ютерних систем (МКС) та їх компонентів. Мета цієї роботи полягає в підвищенні повноти поведінкового робітничого контролю, виконаного для компонентів МКС в реальному часі основного функціонування з урахуванням тимчасових і випадкових характеристик роботи. Така можливість може бути отримана при поданні компонентів МКС розширеними мережами Петрі. Для досягнення мети вирішуються завдання: побудови моделі поведінкового робітничого контролю для компонента МКС, заснованої на розпізнаванні функцій мережі Петрі; визначення основних кроків процедури виконання поведінкового робітничого контролю компонентів МКС; оцінки очікуваної обчислювальної складності одержуваного поведінкового робітничого контролю. Представ-*

лена в роботі модель поведінкового робітничого контролю заснована на організації фонового розпізнає експерименту для розширеної мережі Петрі. Розширена мережа Петрі вводить інтервальні (часові) і ймовірні властивості функції для позицій і переходів. Модель має особливості розпізнавання розширених функцій мережі Петрі, застосуванням ідентифікаторів поведінки, побудованих на їх основі контрольних примітивів і фрагментів, а також сигнатурою операцій композиції фрагментів і відносин для них. Попереднє побудова ідентифікаторів може бути виконано на основі спеціальних графів досяжних розміток. Ідентифікатори і примітиви разом з операціями перетворень поведінки мережі Петрі в її розпізнану структуру дозволяють побудувати процедуру порівняння поведінки перевіряється і еталонного компонента в ході робочого контролю. Модель і процедура можуть бути взяті за основу при визначенні умов поведінкового робітничого контролю, побудові розподілених методу і системи робочого контролю МКС. Загальні аналітичні оцінки розмірності довжини контрольного аналізу показують його досяжність при використанні сучасних засобів робітничого контролю.

**Ключові слова:** мережева комп'ютерна система, поведінковий робочий контроль, що розпізнає експеримент, що розпізнає, розширена мережа Петрі, ідентифікатор, контрольний 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



**Ахмеш Тамим**, аспирант кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: tamim.nor@yahoo.com, тел.: +38(063) 630-74-07

**Ahmesh Tamim**, post graduate of the Department of Computer Intelligent Systems and Networks of Odessa National Polytechnic University. Prosp. Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, E-mail: tamim.nor@yahoo.com, tel.: +38 (063) 630-74-07

**ORCID ID:** 0000-0003-1461-2000



**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



**Дрозд Александр Валентинович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, E-mail: drozd@ukr.net, тел. +38-048-705-83-22

**Drozd Oleksandr Valentinovich**, Dr. of Science, Professor, Professor of the Department of Computer Intelligent Systems and Networks, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, E-mail: drozd@ukr.net, phone +38-048-705-83-22

**ORCID ID:** 0000-0001-7342-4339